

# Análise e melhoria do processo de fabrico de louça de hotelaria

*Pedro Miguel Rodrigues Pereira*

**Dissertação de Mestrado**

Orientadora na FEUP: Prof<sup>a</sup>. Teresa Margarida Guerra Pereira Duarte

Orientador na Spiana: Dr. António Maria Magalhães



**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

2018-01-22



*“The best way to predict the future is to create it”*

Peter Drucker



## Resumo

O projeto apresentado foi elaborado numa empresa de cerâmica sediada em Gondomar, a Spiana. O objectivo principal do trabalho foi analisar e melhorar o processo produtivo de louça de hotelaria – pires e chávenas - com vista a reduzir o desperdício na empresa.

A industria cerâmica de uma forma geral tem muitas variáveis. Este facto deve-se essencialmente à natureza das suas matérias-primas, que estando disponíveis na natureza em diferentes locais e com origem distinta, apresentam características heterogéneas, tanto na sua constituição microscópica, como aspeto visual. Assim, com esta dissertação de mestrado, pretende-se analisar um conjunto vasto de variáveis que interferem no processo industrial da porcelana.

Numa primeira fase identificaram-se as causas dos problemas e recolheu-se a informação necessária para, numa segunda fase, delinear acções. Estas acções de melhoria foram posteriormente analisadas para perceber o seu impacto na organização em estudo.

Todos os procedimentos relevantes envolvidos no processo são descritos, para posteriormente serem discutidos os resultados.

Pretende-se analisar quais os fatores com maior impacto na variabilidade da qualidade, para estes serem controlados.

Aumentar a estabilidade das variáveis de qualidade (massa, dimensões e eliminação de defeitos), bem como identificar as áreas críticas do processo, que mais contribuem para a quantidade de peças rejeitadas, foram metas a atingir.

Após esta análise, tomaram-se medidas sustentadas estatisticamente, com vista a obtenção de melhores resultados.

No entanto, os problemas não foram eliminados e será preciso disciplina e mão-de-obra qualificada para a sustentabilidade das melhorias alcançadas e para as melhorias futuras.

**Palavras-chave:** indústria cerâmica, porcelana, processo produtivo de louça de hotelaria, qualidade, defeitos, desperdício.



## Abstract

The project presented was made in a ceramic company based in Gondomar, Spiana. The main objective of the work was to analyze and improve the production process of hotel ware - saucers and cups - in order to reduce waste in the company.

The ceramic industry in general has many variables. This is due essentially to the nature of their raw materials, which are available in nature in different locations and with different origin, have heterogeneous characteristics, both in their microscopic constitution and in the visual aspect. Thus, with this master's dissertation, it is intended to analyze a vast set of variables that interfere in the porcelain industrial process.

In a first phase the causes of the problems were identified and the necessary information was collected, in a second phase, to delineate actions. These improvement actions were subsequently analyzed to understand their impact on the organization being studied.

All relevant procedures involved in the process are described, and the results are discussed later.

It is intended to analyze which factors have the greatest impact on the quality variability, so that they are controlled.

Increasing the stability of the quality variables (weight, dimensions and elimination of defects), as well as identifying the critical areas of the process, which contribute most to the quantity of rejected parts, were goals.

After this analysis, statistically sustained measures were taken in order to obtain better results.

However, the problems have not been eliminated and will require discipline and skilled labor for the sustainability of the improvements achieved and for future improvements.

**Key-words:** ceramics industry, porcelain, production process of hotel ware, quality, defects, waste.





## Agradecimentos

À Professora Teresa Duarte, orientadora deste trabalho na FEUP, quero expressar a minha gratidão pelos conselhos transmitidos, pela colaboração no solucionar de dúvidas que surgiram ao longo da realização da dissertação, assim como a total disponibilidade, as palavras de apoio dadas e as suas contribuições para o trabalho.

Ao Dr. António Magalhães, orientador na Spiana, pelo seu acompanhamento incondicional ao longo deste projeto, pela troca de ideias e pelos conselhos e sugestões transmitidas, assim como um especial agradecimento pela oportunidade de estágio curricular e a possibilidade de contacto com o mundo empresarial. De referir também toda a liberdade e incentivo dados, ao longo de todo o projeto.

Agradeço também à Sílvia e à Margarida pela valiosa colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

A todas as pessoas da empresa que tive oportunidade de contactar. A todos, obrigado pela oportunidade de aprender e crescer.

À equipa do Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro de Coimbra, em particular à Dr<sup>a</sup>. Regina Santos e ao Dr. Rui Neves, pelos ensinamentos proporcionados, que foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

À Sónia da empresa Mota Pasta pelo esclarecimento de algumas dúvidas e informações relevantes no domínio da pasta cerâmica e do vidrado.

À Dr<sup>a</sup> Susana Olhero e à Dr<sup>a</sup> Paula Torres da Universidade de Aveiro, pela disponibilidade e sugestões que foram fulcrais para a concretização deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto por todos os ensinamentos dados, bem como à minha formação como ser humano.

Aos meus amigos, sempre presentes, pelo companheirismo, amizade e partilha de momentos durante toda a vida académica.

À minha família, principalmente aos meus pais e irmão, sustento de toda a minha formação e ensinamento, obrigado por todo o esforço e confiança, em mim depositados, ao longo deste trabalho e da minha vida.

A todos os que, de uma ou outra forma, permitiram e contribuíram para o meu crescimento, em especial com este trabalho, o meu mais sincero obrigado.

Pedro Pereira



# Índice de Conteúdos

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1	Indústria de Cerâmica.....	1
1.2	Apresentação da Empresa.....	1
1.3	Contextualização do trabalho na Spiana.....	3
1.4	Metodologia adotada no projeto.....	4
1.5	Estrutura da dissertação.....	4
<b>2</b>	<b>Enquadramento teórico.....</b>	<b>5</b>
2.1	Contextualização histórica.....	5
2.2	Revisão da Literatura.....	6
2.2.1	Indústria Cerâmica.....	6
2.2.2	Cerâmica - Porcelana.....	6
2.2.3	Peças utilitárias e decorativas.....	7
<b>3</b>	<b>Descrição do Processo Produtivo.....</b>	<b>9</b>
3.1	Pasta.....	11
3.1.1	Matérias-primas.....	12
3.1.2	Moagem e Moinhos Cerâmicos.....	16
3.1.3	Diluição.....	18
3.1.4	Mistura.....	19
3.1.5	Desfloculação e Floculação.....	20
3.1.6	Filtro Prensa.....	21
3.1.7	Fieira.....	21
3.2	Moldes e Formas.....	22
3.3	Conformação.....	26
3.3.1	Conformação por enchimento (via líquida).....	26
3.3.2	Conformação por prensagem isostática (via seca).....	27
3.3.3	Conformação por contramoldagem (via plástica).....	27
3.4	Secagem na <i>Roller</i> .....	31
3.5	Acabamento na <i>Roller</i> .....	32
3.6	Secagem.....	33
3.7	Chacotagem.....	35
3.8	Vidragem.....	38
3.9	Cozedura do vidrado.....	41
3.10	Escolha do “Branco”.....	47
3.11	Armazém do “Branco”.....	49
3.12	Decoração.....	49

3.13	Escolha.....	52
3.14	Embalagem .....	52
<b>4</b>	<b>Possíveis fontes de desperdício encontradas na Spiana.....</b>	<b>55</b>
4.1	Matéria-prima: Pasta Cerâmica.....	56
4.2	Estação de trabalho: Fabrico de moldes (formas) em gesso.....	57
4.3	Estação de trabalho: <i>Roller</i> Pires.....	57
4.4	Estação de trabalho: <i>Roller</i> Pires/Chávenas.....	60
4.5	Estação de trabalho: Pós-Vidragem.....	61
4.6	Estação de trabalho: Fabrico de asas.....	65
4.7	Equipamentos.....	65
4.8	Organização Fabril.....	66
4.9	Outros Problemas/Comentários: .....	67
<b>5</b>	<b>Testes e ensaios experimentais .....</b>	<b>71</b>
5.1	Ensaio de reologia .....	71
5.1.1	Determinação da densidade de uma suspensão .....	71
5.1.2	Determinação da fluidez de uma suspensão .....	73
5.2	Ensaio utilizados no controlo do processo – pasta e peças.....	74
5.2.1	Dureza da Pasta - Penetrómetro .....	75
5.2.2	Medição de espessuras de peças - Paquímetro .....	75
5.2.3	Massas - Balança .....	76
5.2.4	Determinação da percentagem de humidade de pastas e peças.....	76
5.2.5	Determinação da percentagem de perda ao rubro das pastas.....	77
5.2.6	Determinação da percentagem de absorção de água de peças chacotadas .....	79
5.2.7	Análise dilatométrica .....	80
5.2.8	Análise térmica simultânea .....	81
5.2.9	Determinação da capacidade de absorção de água de gessos .....	82
5.2.10	Lixo de acabamento .....	86
<b>6</b>	<b>Análise e discussão de resultados.....</b>	<b>89</b>
6.1	Ensaio utilizados no controlo do processo .....	89
6.1.1	Dureza da pasta - Penetrómetro .....	89
6.1.2	Determinação da percentagem de humidade da pasta .....	90
6.1.3	Determinação da percentagem de perda ao rubro da pasta .....	91
6.1.4	Determinação da capacidade de absorção de água no gesso .....	92
6.1.5	Medição de espessuras de peças - Paquímetro .....	94
6.1.6	Massas - Balança .....	94
6.1.7	Determinação da percentagem de humidade de peças.....	100
6.1.8	Determinação da percentagem de absorção de água de peças chacotadas .....	105

6.1.9 Análise térmica dilatométrica .....	110
6.1.10 Análise térmica simultânea.....	111
6.2 Ensaio de reologia dos vidrados .....	112
6.2.1 Determinação da densidade de vidrados .....	113
6.2.2 Determinação da fluidez de vidrados .....	114
6.3 Lixo de acabamento.....	117
<b>7 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro .....</b>	<b>121</b>
7.1 Conclusões .....	121
7.2 Trabalhos futuros .....	124
7.3 Recomendações.....	126
<b>Referências .....</b>	<b>129</b>



## Índice de Figuras

Figura 1 - Empresa Spiana: a) fotografia exterior; b) logotipo [2].	2
Figura 2 - Exemplos de peças (pires e chávenas) produzidas na Spiana, assim como as suas dimensões [2].	2
Figura 3 - Principais constituintes da porcelana.	7
Figura 4 - Esquema de classificação do CAE para o tipo de indústria aqui descrito [9].	7
Figura 5 - Representação do processo produtivo em função das secções.	9
Figura 6 - Diagrama esquemático do processo de produção de louça utilitária e decorativa [10].	8
Figura 7 - Matérias-primas plásticas e duras.	11
Figura 8 - Ilustração das matérias-primas [11].	11
Figura 9 - Constituição do caulino, principal matéria-prima da porcelana.	14
Figura 10 - Moinhos de bolas: a) representação esquemática [9] e b) vista global [17].	17
Figura 11 - Motor acoplado ao diluidor mecânico.	18
Figura 12 - Representação esquemática de um diluidor misturador [15].	18
Figura 13 - Depósito subterrâneo em betão para armazenamento, com agitação contínua da suspensão: a) representação esquemática, b) fotografia [9].	19
Figura 14 - 1) Peneiro e 2) tanque misturador.	19
Figura 15 - Atacagem: a) resíduos da produção de asas; b) resíduos do fabrico de peças.	20
Figura 16 - Filtro prensa: a) representação esquemática e b) fotografia [16].	21
Figura 17 - a) Extração da pasta através da fieira e formação das paletes de pasta [19]; b) palete de pasta.	22
Figura 18 - Morfologia das partículas de gesso a) $\alpha$ e b) $\beta$ [9].	23
Figura 19 - Proporção das massas de gesso por massa de água, nas formas de estrutura $\alpha$ e $\beta$ [9].	23
Figura 20 - Estrutura molecular de uma resina epoxídica [9].	24
Figura 21 - Madres em resina, que permitirão obter moldes de gesso, para posterior conformação de chávenas.	24
Figura 22 - Fabrico das formas de gesso.	24
Figura 23 - a) Armazenamento do gesso em pó; b) Armazenamento das formas de gesso.	25
Figura 24 - Formas de gesso prontas a serem utilizadas na conformação de peças.	25
Figura 25 - Vários tipos de conformação.	26
Figura 26 - Máquina de enchimento tradicional [15].	26
Figura 27 - Máquina de enchimento sob pressão [15].	27
Figura 28 - Prensa isostática [15].	27
Figura 29 - Máquina roller [15].	28
Figura 30 - a) Cabeças de <i>nylon</i> para conformar chávenas; b) cabeças de <i>nylon</i> e aço para conformar pires.	28
Figura 31 - Conformação plástica, por roller: a) esquematiza-se a conformação externa e na figura b) a conformação interna [16], c) foto de uma linha de pires com uma cabeça de metálica.	28
Figura 32 - Conformação de pires e posterior introdução das peças acopladas às formas no secador da <i>roller</i> .	29
Figura 33 - Secador da roller dos pires.	31

Figura 34 – Peças e formas a percorrer o ciclo de secagem no interior do secador da <i>roller</i> .	31
Figura 35 - Célula de acabamento manual [15].	32
Figura 36 - Operações de acabamento automático na <i>roller</i> .	32
Figura 37 - Esquema dos fenómenos ocorridos durante a operação de secagem de chávenas (gradientes térmicos e de humidade).	34
Figura 38 – a) Carrinho com pires secos; b) Secador de branco de chávenas.	34
Figura 39 – Secador de “couro” e de branco [16].	35
Figura 40 – Mobília de chávenas, no interior do forno de chacotagem, prontas para a 1ª cozedura.	35
Figura 41 - Na curva de cozedura são identificados a traço grosso os três momentos críticos: entre os 500°C e 600°C, 900°C e 1.050°C e os 600°C e 400°C [22].	36
Figura 42 – Chávenas chacotadas.	37
Figura 43 - Representação do processo por bicozedura.	37
Figura 44 - Representação do processo por monocozedura.	37
Figura 45 - a) Forno de chacotagem a cozer; b) Forno de chacotagem após cozedura.	37
Figura 46 - Vidrado.	38
Figura 47 - Imagens da linha de vidragem automática de chávenas, a) colocação das chávenas, b) vidragem pela técnica de cortina e esguicho, c) tapete de transporte e d) zona de limpeza para remover o excesso de vidro presente na base das peças [9].	39
Figura 48 - Unidade de despoeiramento para limpar as peças antes da vidragem [9].	39
Figura 49 – a) Mesa com pires a secar, após serem vidrados, para serem limpos no frete; b) Tapete de veludo humedecido utilizado para limpeza dos fretes das peças.	40
Figura 50 - Operário a mergulhar a peça na suspensão de vidrado [15].	40
Figura 51 – Mobília carregada com pires e chávenas vidradas, prontas a serem sujeitas à cozedura do vidrado (alta temperatura).	41
Figura 52 - Na curva de cozedura são identificados a traço grosso os três momentos críticos: entre os 500°C e 600°C, 900°C e 1070°C e os 600°C e 400°C. Observa-se também a identificação do período de “patamar”, compreendido entre 20 e 30 minutos quando se atinge a temperatura de fusão do vidrado, que no presente caso é de 1070°C [22].	41
Figura 53 - Fornos de alta temperatura, a) exemplo de forno intermitente, b) exemplo de um forno contínuo e c) exemplo de um forno muflado [9].	42
Figura 54 - Etapas do ciclo de cozedura em grande fogo.	42
Figura 55 - Representação da fusão do feldspato potássico.	43
Figura 56 – a) Placas de carboneto de silício que compõem a mobília; b) Prumos que sustentam as placas na mobília.	43
Figura 57 – Mobílias carregadas: a) peças chacotadas; b) peças vidradas.	44
Figura 58 - Placas refratárias lixadas com recurso a abrasivos e com aplicação de engobe.	44
Figura 59 - Cozedura a alta temperatura no interior de um forno.	44
Figura 60 - Principais fases da ação do calor sobre um corpo cerâmico (adaptado de [26, 27, 28, 29, 30]).	45
Figura 61 – Mobília com peças cozidas a alta temperatura, prontas a serem escolhidas.	47
Figura 62 – a) Caixas que contêm peças defeituosas; b) Caixas que contêm peças conformes, prontas para decoração.	48
Figura 63 – Refugo constituído por peças com defeitos resultantes da escolha a 100%.	48
Figura 64 - Equipamento utilizado no polimento (limpeza) do frete dos pires assinalados a vermelho.	49
Figura 65 - Frete de um pires não polido.	49



Figura 66 – Peças em branco armazenadas. ....	49
Figura 67 - Mobília com peças decoradas, prontas para a cozedura de decoração. ....	50
Figura 68 - Decalques que serão colocados nos pires. ....	51
Figura 69 - Pires decorado com decalque. ....	51
Figura 70 - a) Aplicação de " <i>backstamp</i> ", pela técnica de decalque aplicado manualmente; b) Introdução das chávenas para colocar a impressão automaticamente; c) Impressão do decalque na chávena através de rolo [9]. ....	51
Figura 71 – a) Decoração por impressão; b) Mufla usada na cozedura de peças decoradas. ....	52
Figura 72 - Peças partidas e com outros defeitos acumulados durante a cozedura da decoração. ....	52
Figura 73 – Embalagens prontas a receber chávenas. ....	53
Figura 74 – Palete que contém diversas caixas prontas. ....	53
Figura 75 - Cestos com aparas resultantes do corte de excesso de pasta na etapa de conformação na <i>roller</i> . ....	67
Figura 76 – À esquerda uma chávena conformada; à direita o tarugo de pasta que lhe deu origem. ....	67
Figura 77 - a) Pesagem do tarugo em gramas; b) pesagem das aparas (desperdício) em gramas. ....	68
Figura 78 - Pires decorado defeituoso, em que é visível a destruição de uma parte do decalque devido ao colapso de bolha de água aquando da cozedura. ....	69
Figura 79 - Mobília com peças decoradas, após cozedura de decoração, em que é visível a colocação dos pires em cima das chávenas. ....	69
Figura 80 - Carro com suspensão de vidro. ....	72
Figura 81 - Esquema ilustrativo de um picnómetro: 1 - picnómetro; 2 - tampa; 3 - orifício ....	72
Figura 82 - Picnómetro de inox, a) visão frontal, b) visão de topo. ....	72
Figura 83 - Barbotina para fabrico de asas manualmente. ....	73
Figura 84 - Taça Ford de 2 milímetros utilizada no ensaio. ....	73
Figura 85 – Esquema ilustrativo de uma Taça Ford: 1 – Taça Ford; 2 – orifício ....	74
Figura 86 - Cronómetro utilizado para medir o tempo de escoamento da suspensão. ....	74
Figura 87 - a) Penetrómetro ST207 (0 a 5,88 bar); b) Método de medição da dureza da pasta. ....	75
Figura 88 - Paquímetro digital, <i>Mitutoyo</i> . ....	75
Figura 89 - Verificação das espessuras: a) no caso da chávena; b) no caso de um pires. ....	75
Figura 90 - Balança OHAUS PA214C. ....	76
Figura 91 – a) Vista frontal de três chávenas em diferentes estágios: 1 – Após conformação na <i>roller</i> ; 2 – após secagem na <i>roller</i> ; 3 – Após secagem no secador de branco; b) Vista de cima das mesmas. ....	76
Figura 92 - Pires após secagem no secador de branco, para posteriormente serem pesados para determinação da percentagem de humidade. ....	76
Figura 93 - Pesagem de uma chávena após a saída do secador da <i>roller</i> . ....	77
Figura 94 - Estufa utilizada para o ensaio de determinação de humidade. ....	77
Figura 95 - Pesagem de pires seco. ....	77
Figura 96 - Amostra de pasta recolhida num tarugo armazenado numa palete do fornecedor, estado seco. ....	78
Figura 97 - Pesagem da amostra de pasta recolhida. ....	78
Figura 98 - Pedacos de pasta depois da cozedura acima de 1000°C. ....	78
Figura 99 - Pesagem de um pires após cozedura de chocotagem. ....	79

Figura 100 - a) Pires chacotado mergulhado em água fria durante 24 horas; b) várias peças (pires e chávenas) mergulhadas em água fria. ....	80
Figura 101 - Curva de cozedura de chacotagem praticada na empresa Spiana (temperatura máxima de 850°C). ....	81
Figura 102 - Estufa utilizada para secagem das formas/moldes. ....	82
Figura 103 - Gesso em pó. ....	83
Figura 104 - Programa que permite fazer a relação gesso - água desejada. ....	83
Figura 105 - Pasta de gesso fluida. ....	83
Figura 106 - a) Vazamento da suspensão de gesso; b) molde de gesso a ganhar consistência. ....	84
Figura 107 - Formas de gesso desmoldadas. ....	84
Figura 108 - Pannel de controlo do secador, onde é definida a temperatura e a duração da secagem. ....	84
Figura 109 - Formas de gesso armazenadas depois da secagem. ....	85
Figura 110 - a) Pesagem da forma de gesso seca; b) Formas de gesso mergulhadas em água. ....	85
Figura 111 - Pesagem da forma de gesso, após 24 horas mergulhada em água fria. ....	85
Figura 112 - Esquerda: lixo de acabamento à saída do forno de vidro; direita: lixo de acabamento à saída da operação de vidragem. ....	86
Figura 113 - Peças chacotadas a aguardar o processo de vidragem. É evidenciada a existência de pequenas partículas sobre algumas das peças. ....	86
Figura 114 - Peças sujeitas à limpeza prévia com ar comprimido antes da vidragem. ....	87
Figura 115 - Conjunto de peças chacotadas, que foram utilizadas no teste da limpeza a uma mobília. ....	87
Figura 116 - Limpeza do conjunto de pires com recurso a ar comprimido. ....	87
Figura 117 - Após a limpeza, de forma individual, dos vários pires, estes foram colocados, lado a lado, em prateleiras de um carrinho. ....	88
Figura 118 - Gráfico que representa o desvio entre a dureza medida na Spiana e a dureza indicada pelo fornecedor da pasta. ....	89
Figura 119 - Gráfico que representa a dureza da pasta medida na empresa Spiana por lote fornecedor. ..	90
Figura 120 - Gráfico que representa o desvio entre a humidade determinada para a pasta na Spiana, e a humidade de extrusão, da mesma, indicada pelo fabricante. ....	90
Figura 121 - Gráfico que representa a relação existente entre a humidade da pasta e a dureza da mesma, medidas na Spiana. ....	91
Figura 122 - Gráfico que representa a evolução da perda ao rubro de pastas por lote. ....	91
Figura 123 - Gráfico que representa a capacidade de absorção de água das formas que permitem conformar as chávenas do modelo 10001. ....	92
Figura 124 - Moldes durante o processo de secagem. ....	93
Figura 125 - Indicação da posição do molde durante a secagem, de acordo com a cavidade do mesmo. ..	93
Figura 126 - Gráfico que representa a capacidade de absorção de água do gesso para de moldes de gesso consoante a posição de secagem, para o caso do modelo de chávena 10001. ....	93
Figura 127 - Gráfico que representa a variação da massa do tarugo no modelo de pires 10001. ....	95
Figura 128 - Gráfico que representa a variação da massa do pires 10001, no estágio: saída do secador da roller. ....	95
Figura 129 - Gráfico que representa a variação do massa do tarugo no modelo de pires 30001. ....	96
Figura 130 - Gráfico que representa a variação do massa do pires 30001, no estágio: saída do secador da roller. ....	96
Figura 131 - Gráfico que representa a variação da massa do tarugo no modelo de chávenas 10001. ....	97

Figura 132 - Gráfico que representa a variação da massa da chávena 10001, no estágio: saída do secador da roller. ....	97
Figura 133 - Gráfico que representa a variação da massa do tarugo no modelo de chávenas 30001. ....	98
Figura 134 - Gráfico que representa a variação da massa da chávena 30001, no estágio: saída do secador da roller. ....	98
Figura 135 - Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para o pires 10001. ....	99
Figura 136 - Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para o pires 30001. ....	99
Figura 137 - Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para a chávena 10001. ....	99
Figura 138 - Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para a chávena 30001. ....	100
Figura 139 - Gráfico que representa a humidade dos pires, na etapa de conformação dos mesmos. ....	100
Figura 140 - Gráfico que representa a humidade das chávenas, na etapa de conformação das mesmas. .	101
Figura 141 - Gráfico que representa a humidade dos pires, à saída do secador da roller. ....	101
Figura 142 - Gráfico que representa a humidade das chávenas, à saída do secador da roller. ....	102
Figura 143 - Asas já cortadas e prontas a serem coladas na roller. ....	102
Figura 144 - Gráfico que representa a humidade das asas já cortadas e prontas a colar, nas chávenas, na roller. ....	103
Figura 145 - Gráfico que representa a humidade do par chávena (C)/asa (A) 10001. ....	103
Figura 146 - Gráfico que representa a humidade do par chávena (C)/asa (A) 10020. ....	103
Figura 147 - Gráfico que representa a humidade após secagem das chávenas, no secador de "branco". .	104
Figura 148 - Gráfico que representa a humidade após secagem dos pires, no secador de "branco". ....	104
Figura 149 - Gráfico que retrata a evolução da absorção de água (porosidade) com a temperatura de chocotagem adotada na Spiana. ....	105
Figura 150 - Mufla utilizada para cozedura das amostras, nas diversas temperaturas. ....	106
Figura 151 - Amostra constituída por três pires, prestes a iniciar um ciclo de cozedura na mufla. ....	106
Figura 152 - Gráfico que retrata a evolução da porosidade (absorção de água) com a temperatura. ....	107
Figura 153 - Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa de pires chocotado do modelo 10001. ....	108
Figura 154 - Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa da chávena chocotada, modelo 10001. ....	108
Figura 155 - Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa do pires chocotado, modelo 30006. ....	109
Figura 156 - Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa de peças chocotadas, vários modelos de peças. ....	109
Figura 157 - Análise dilatométrica da pasta Poralt 10 EX utilizada na Spiana [47]. ....	110
Figura 158 - Análise dilatométrica da pasta Poralt 10 EX utilizada na Spiana [47]. ....	110
Figura 159 - Análise térmica simultânea da pasta, onde está localizada com o auxílio de setas, a curva referente a análise térmica diferencial, que ilustra a perda de massa da pasta ao longo da temperatura [44]. ....	111
Figura 160 - Elementos de uma carta de controlo - LSC Limite Superior de Controlo (limite máximo), LIC - Limite Inferior de Controlo (limite mínimo). ....	112
Figura 161 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da densidade ao carrinho de vidragem das chávenas. ....	113

Figura 162 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da densidade ao carrinho de vidragem dos pires.....	114
Figura 163 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da viscosidade ao carrinho de vidragem das chávenas. ....	115
Figura 164 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da viscosidade ao carrinho de vidragem dos pires.....	115
Figura 165 - Superfície do vidro numa peça, que apresenta o defeito "picado" [50].....	116
Figura 166 – Curva típica de desfloculação [43]. ....	117
Figura 167 - Gráfico que representa a melhor situação da limpeza com ar comprimido a 572 pires do modelo 10001. ....	117
Figura 168 - Gráfico que representa a pior situação da limpeza com ar comprimido a 572 pires do modelo 10001. ....	118
Figura 169 – Carrinho de vidragem com o conjunto motor elétrico e filtro acoplado.....	119
Figura 170 - Placa refratária cujo orifício apresenta desgaste. ....	125
Figura 171 - Pormenor do orifício avançado da placa refratária, da qual se libertaram partículas de carboneto de silício.....	126

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Espécies de Cerâmica e suas características [4]. .....	5
Tabela 2 - Caraterísticas da pasta cerâmica Poralt 10 EX do fornecedor MOTA, utilizada na Spiana [12]. .....	12
Tabela 3 - Principais caraterísticas das argilas [9].....	15
Tabela 4 - Caraterísticas do vidro VDAT 10T do fornecedor MOTA utilizado na empresa Spiana [23]. .	38
Tabela 5 - Reações físicas e químicas estabelecidas durante o aquecimento de um corpo cerâmico [31].	46
Tabela 6 - Parâmetros de funcionamento da decoração de grande fogo e sob vidrado [33,34] .....	50
Tabela 7 - Tabela que representa a massa das formas após secagem, a massa das formas após imersão em água durante 24 horas e a respetiva absorção de água. ....	92
Tabela 8 - Respostas dadas pelas cartas de controlo [9].....	113
Tabela 9 - Procedimento para corrigir a densidade. ....	114



# 1 Introdução

A presente dissertação foi desenvolvida em ambiente empresarial, na empresa Spiana – Sociedade de Porcelanas, LDA, no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica (MIEM) – especialização de Produção, Conceção e Fabrico – da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Com a crescente exigência dos mercados, a indústria cerâmica tem vindo a investir muito na qualidade, sendo esta um pilar e uma filosofia de trabalho interna cada vez mais presente na Spiana. A qualidade apresenta-se como um fator determinante de competitividade, revelando-se como um dos principais diferenciadores, assumindo, assim, uma vantagem competitiva.

## 1.1 Indústria de Cerâmica

A indústria de cerâmica é um setor de elevada antiguidade e tradição, pois as características que os seus produtos evidenciam, em termos de cores, durabilidade, a reduzida manutenção que carecem e a sua adaptabilidade, dota-os de um elevado potencial de desenvolvimento, em termos de funcionalidade e *design*.

A indústria de cerâmica teve como propósito inicial, satisfazer as necessidades do setor da construção, enquanto produtora de tijolos, telhas, soluções de pavimentação, revestimentos, louça sanitária e utensílios cerâmicos com fins utilitários e decorativos. Contudo, com a evolução tecnológica e o desenvolvimento das funcionalidades da cerâmica foi possível identificar o mesmo potencial de aplicabilidade eficiente noutros setores de atividade industrial, designadamente: indústrias de aeronáutica, aeroespacial, automóvel, química, mecânica, investigação médica, entre outros.

Esta indústria encontra-se subdividida em cinco subsectores orientados para a oferta de diferentes segmentos de produtos, designadamente: Cerâmica Estrutural, Cerâmica de Pavimentos e Revestimentos, Cerâmica de Louça Sanitária, Cerâmica Utilitária e Decorativa e Cerâmicas Especiais.

A indústria de cerâmica assume um papel relevante na economia mundial e tem vindo a evidenciar uma grande capacidade de se reinventar, propiciando o aumento global da dimensão do mercado. A tendência atual aponta para a produção de bens com maior valor acrescentado e tecnologicamente mais desenvolvidos, o que exige um acompanhamento constante destas tendências de forma a ir ao encontro das necessidades específicas dos consumidores.

Em Portugal, esta indústria representava em 2015 cerca de 0.5% do Produto Interno Bruto (PIB), 1.2% do volume de negócios da indústria transformadora e emprega cerca de 15.900 trabalhadores através de 1.127 empresas. Em 2014, 70% da produção nacional estava concentrada nos subsectores de Cerâmica de Pavimentos e Revestimentos e de Cerâmica Utilitária e Decorativa [1].

## 1.2 Apresentação da Empresa

A Spiana (Figura 1) é uma empresa familiar de porcelanas, fundada em 2014, com o foco na produção de peças para o mercado torrefator (chávenas e pires) (Figura 2).

a)



b)



Figura 1 - Empresa Spiana: a) fotografia exterior; b) logotipo [2].

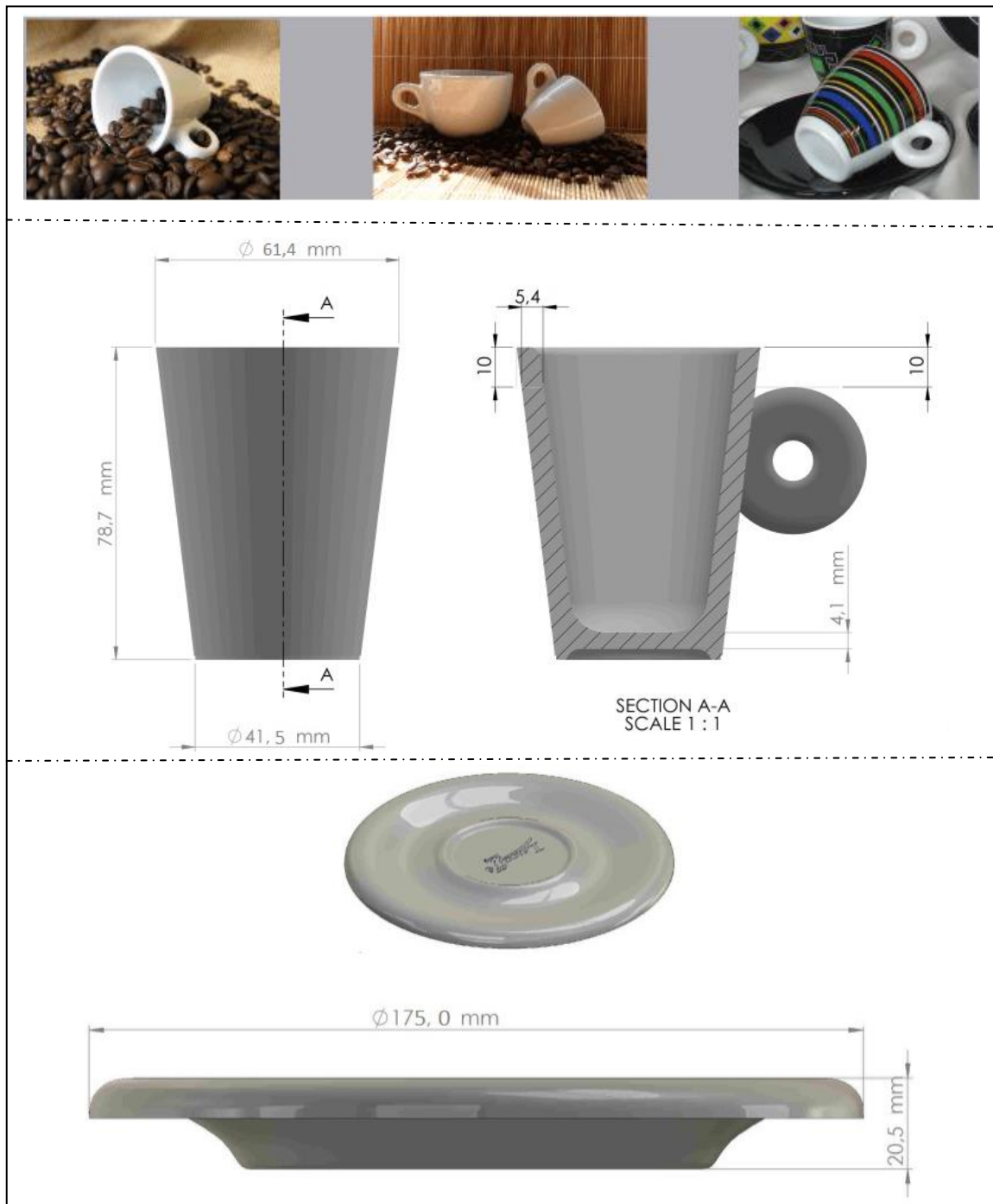


Figura 2 - Exemplos de peças (pire e chávenas) produzidas na Spiana, assim como as suas dimensões [2].



O projeto Spiana constitui um investimento inicial de 2.7 M€ com o apoio do IAPMEI. Iniciou a produção em meados de 2015. Os sócios fundadores detêm experiência relevante na indústria de porcelana (parte comercial) e na Indústria Automóvel, Energia e Banca.

Em 2015 entregou cerca de 80.000 conjuntos, em 2016 400.000 e em 2017 cerca de 800.000. Tem como principais clientes a *Segafredo* no mercado externo e a *Bicafé* e a *New Coffee* no mercado interno. Os principais desafios para os próximos 2 anos são o de passar a utilizar de uma forma eficiente, os processos inovadores para os quais fez o investimento: produção de asas por enchimento de alta pressão com corte por *robot*; marcação a *laser*, *heat release* (aplicação do decalque, na decoração, através do calor, em detrimento da utilização da água para aplicação dos mesmos), controlo tridimensional das peças e colagem automática das asas.

### 1.3 Contextualização do trabalho na Spiana

Todas as empresas procuram praticar os custos mais baixos. Sejam custos do processo de produção em si, custos relacionados com a logística necessária ou custos em difundir os seus produtos no mercado. Desta forma, a redução de custos, mantendo-se o preço do produto fixo, conduz ao aumento dos lucros da empresa, que é o principal objetivo da quase totalidade das organizações. Para isso, é necessária a utilização de sistemas que controlem os custos, por meio de sucessivos ciclos de aprendizagem e melhoria.

Uma maneira de obter redução de custos é melhorar a qualidade do processo de produção. Isto ocorre na Spiana, que visa a elevada qualidade dos seus produtos, fazendo a inspeção final de 100% da produção. Com a inspeção, não são embaladas peças defeituosas, ou melhor, consideradas fora dos padrões de qualidade estabelecidos. Estas peças não são comercializadas, criando uma perda no processo.

Para a Spiana, que possui um volume de produção crescente, evitar perdas no processo é muito importante, não apenas na inspeção final, mas também ao longo de todo o processo. Produzir peças não-conformes, subentende-se perda de matéria-prima, utilização desnecessária de equipamentos, já que se desgastam e gastos adicionais com mão-de-obra. Todos estes parâmetros colaboram com os custos de produção e conseqüentemente, para o aumento do preço do produto, reduzindo a competitividade da empresa no mercado.

Portanto, fica clara a vantagem da realização de um estudo mais detalhado de perdas no processo de produção na Spiana, a fim de estudar possibilidades que conduzam à redução de desperdícios nesta empresa, em que a percentagem de refugo (desperdício) ronda, aproximadamente, 20% da produção.

Assim, de forma a satisfazer a essência deste projeto, analisou-se o processo produtivo, identificaram-se fontes de desperdício ao longo da linha e por último, procurou-se propor melhorias de controlo, que atenuem os desperdícios.

## **1.4 Metodologia adotada no projeto**

Numa fase embrionária do projeto foi seguido um plano de integração na empresa, funcionando como uma adaptação ao ambiente empresarial. Passando de departamento em departamento fabril, foi possível ter uma perspetiva geral sobre como cada área funciona, tais como os processos envolvidos na produção de louça de hotelaria, mais especificamente, pires e chávenas de café.

Após esta fase de integração, houve uma de pesquisa bibliográfica, de forma a assimilar os conhecimentos básicos e iniciais fulcrais para o entendimento do projeto e sua finalidade.

Assimilados os conhecimentos quanto ao processo de fabrico de pires e chávenas de café, procurou-se identificar, na Spiana, possíveis fontes de desperdício e respetiva proposta de solução. No seguimento deste levantamento, surgiu a necessidade de proceder a uma pesquisa quanto a possíveis testes e ensaios de controlo a realizar, de modo a melhorar a qualidade dos processos e produtos, e por sua vez, minimizar o desperdício.

## **1.5 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos.

No primeiro capítulo, sendo um capítulo introdutório, apresentou-se resumidamente o projeto e o seu contexto.

No segundo capítulo é feito um enquadramento teórico dos conceitos chave envolvidos no projeto, sendo apresentados os principais pressupostos teóricos que sustentaram o projeto.

No terceiro capítulo faz-se uma abordagem ao processo produtivo da fábrica.

No quarto capítulo expõe-se a situação atual da empresa, referente a fontes de desperdício.

No quinto capítulo são apresentados os testes que foram efectuados.

No sexto e sétimo capítulo são resumidas as conclusões que foram possíveis aferir de todos os testes realizados e apresentados possíveis trabalhos/testes futuros.

## 2 Enquadramento teórico

Neste capítulo são abordados alguns assuntos relevantes para o problema em estudo. Em cada um dos temas é feita uma breve revisão e exposição da literatura existente de modo a contextualizar o projeto na realidade atual. A origem da cerâmica e mais tarde da porcelana são temas aqui descritos. Quando surgiu pela primeira vez a porcelana em Portugal e a sua ascensão até à produção industrial, são questões às quais se procurou responder nesta secção do trabalho.

### 2.1 Contextualização histórica

O termo "cerâmica" tem origem na Grécia, "*Keramus*", designação atribuída ao produto obtido com matéria-prima inorgânica, não metálica, moldado a frio e endurecido pelo calor. A arte de moldar o produto tem a mesma designação [3].

As diferentes espécies de cerâmica (Tabela 1) obtêm-se pela conjugação de diversas matérias-primas, bem como a manipulação a que estas são sujeitas, por outras palavras, processo produtivo [4].

Tabela 1 - Espécies de Cerâmica e suas características [4].

Tipo	Pasta	Porosidade	Revestimento
<b>Terracota</b>	Pasta corada	Porosa	Sem Revestimento
<b>Faiança</b>	Pasta corada	Porosa	Com Revestimento
<b>Grés</b>	Pasta corada	Compacta	Com ou Sem Revestimento
<b>Louça de Barro</b>	Pasta branca	Porosa	Com ou Sem Revestimento
<b>Porcelana</b>	Pasta branca	Compacta	Com ou Sem Revestimento

A pasta da porcelana é obtida através de uma mistura de argilas refratárias, caulino, quartzo, e feldspato, que, cozendo a uma temperatura de 1420°C, torna-se dura, translúcida, vitrificada e sonora ao toque. O veneziano Marco Polo, quando passou pela China entre 1271 e 1295, descreveu as peças feitas com pasta de porcelana, como objetos semelhantes ao nacarado de certas conchas *porcellas*, dando origem à palavra porcelana [4]. O segredo da pasta porcelânica permaneceu guardado na China, durante centenas de anos. No século XVI, a Europa avança com várias tentativas para obter esta pasta. É sobretudo em Itália que estas pesquisas se tornam mais ativas, chegando mesmo a fabricarem-se peças com características muito próximas da porcelana, designando-se "porcelana dos Médicis<sup>1</sup>", por ser pesquisado sob a sua proteção.

Em várias regiões de Itália foram fabricadas peças cerâmicas, que continham já o famoso caulino, mas este não estava nas proporções corretas. Só em 1708, o segredo é desvendado com o auxílio de um alquimista - Johann Frederic Böttger e de um físico - Walter von Tschirnhaus. Surge assim, a primeira fábrica de verdadeira porcelana dura, na Europa. Em Portugal, a porcelana surge por acaso, em 1773. Quando procuravam argilas refratárias para a construção de fornos de fundição no Arsenal do Exército, o tenente-coronel Bartolomeu da Costa encontrou vestígios de caulino em algumas

<sup>1</sup> Médicis - imponente família Italiana.

amostras. A primeira peça feita foi uma placa retangular alusiva à descoberta do caulino; tem as armas reais, o ano da descoberta e a seguinte inscrição: “Descuberto pelo Then Coronel Bartholomeu da Costa”. Antes, em 1722, Domingos Vandelli fez vários estudos laboratoriais e está descrito o elevado esforço para obter o caulino [4].

Em 1824, surge a primeira unidade fabril de porcelana, em Aveiro, pela mão de José Ferreira Pinto Basto. No entanto continuavam a faltar jazigos de Caulino que permitissem a industrialização. Em 1832, são localizados jazigos de Caulino em Val Rico. Assim, iniciou-se a indústria da porcelana em Portugal [4]. Outras empresas no mesmo sector foram nascendo, seguindo as mesmas influências, no entanto, cada uma foi criando a sua marca.

## 2.2 Revisão da Literatura

Nesta secção, pretende-se esclarecer numa perspetiva técnica, as principais características da pasta cerâmica na produção industrial, bem como da porcelana em particular.

### 2.2.1 Indústria Cerâmica

Todos os produtos fabricados a partir de qualquer argila e endurecidos pelo processo de cozedura são designados corpos cerâmicos. A pasta cerâmica surge da mistura de várias matérias-primas. Inicialmente os silicatos naturais (minerais de argila) eram a principal matéria-prima, mais tarde foram sendo introduzidos numerosos óxidos puros ( $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , etc.), carbonetos, boretos, nitretos, sulfuretos, etc.

As propriedades dos materiais cerâmicos (mecânicas, térmicas, elétricas, magnéticas, químicas) são influenciadas pela sua composição química, mineralógica, bem como as suas ligações químicas e o tipo de estrutura [5].

### 2.2.2 Cerâmica - Porcelana

Porcelana é definida como um artigo cerâmico vítreo vidrado ou não vidrado, usado principalmente para propósitos técnicos [6]. O setor de cerâmica branca apresenta uma classificação baseada no teor de água absorvida pelo corpo cerâmico. Assim, denomina-se porcelana quando a absorção de água é zero (pode-se admitir até 0,5%). As porcelanas são fabricadas a partir de massas chamadas de triaxiais, pois, são constituídas por argilominerais (argila plástica e /ou caulino), quartzo e feldspato, (por isso cerâmica triaxial) que são cozidas a temperaturas superiores a 1250°C. Os produtos apresentam baixa porosidade (menor que 0,5%), baixa absorção de água, e alto conteúdo de fase vítrea depois de queimados. Compreendem produtos de uso doméstico e de hotelaria (pratos, chávenas, jogos de chá, etc.), isoladores elétricos e peças para componentes electroeletrónicos, artigos decorativos, próteses dentárias, revestimentos e outros [7].

A porcelana é na indústria cerâmica, a pasta nobre, pois as suas características exigem que sejam usadas matérias-primas de elevada qualidade, mais caras. Para obter a cor da porcelana e a espessura fina das peças, é necessário usar matérias-primas de elevada pureza. Para iniciar a formulação da pasta cerâmica, é necessário

definir quais as matérias-primas que constituem a sua composição, de acordo com as propriedades que se deseja ter no produto final, nomeadamente: grau de vitrificação, resistência mecânica, coeficiente de expansão térmica e condutibilidade térmica. É importante definir qual a temperatura final de cozedura, pois, em última instância é este parâmetro que define as propriedades finais da pasta. A porcelana resulta da adição de grande percentagem de feldspato às argilas brancas (Figura 3).

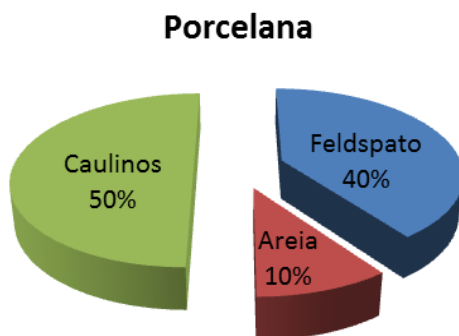


Figura 3 - Principais constituintes da porcelana.

O tipo de pasta mais comum na porcelana é a feldspática, sendo constituída geralmente por argilas, caulinos, quartzo e feldspato. Tem como características, um material cerâmico compacto, branco, mais ou menos translúcido, é frequentemente revestida por vidro transparente [5].

### 2.2.3 Peças utilitárias e decorativas

As indústrias são identificadas com o CAE - Classificação Portuguesa de Atividades Económicas, de acordo com o que produzem. As indústrias cerâmicas, como já foi referido, incluem vários tipos de material que consequentemente abrangem diversas áreas de negócio, entre os quais: cerâmica de revestimento, cerâmica para a construção, cerâmica utilitária, etc.

Assim, torna-se necessário subdividir as indústrias para na aplicação da legislação, esta ser adequada ao tipo de produto fabricado. Esta identificação permite ainda fazer vários estudos estatísticos a cargo do INE - Instituto Nacional de Estatística, os quais são essenciais para o desenvolvimento e consolidação do sistema estatístico nacional [8]. Desta forma, a classificação da indústria, aqui descrita, de acordo com o CAE, é C-2341 (Figura 4).

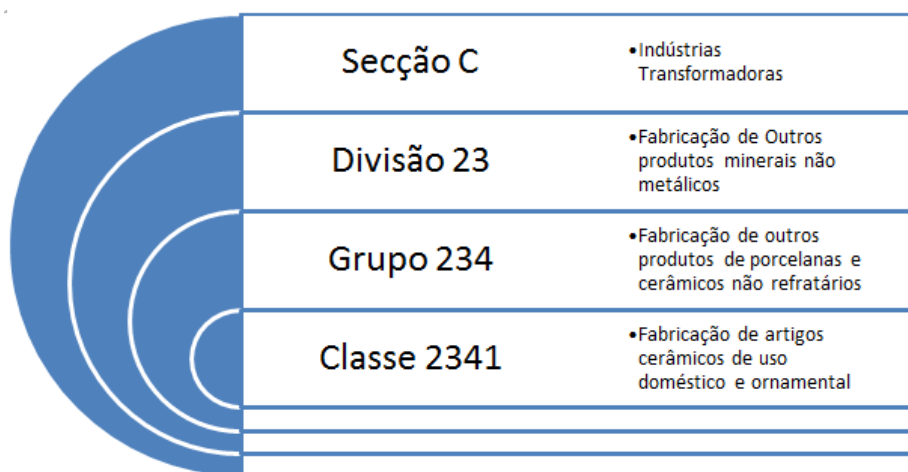


Figura 4 - Esquema de classificação do CAE para o tipo de indústria aqui descrito [9].



### 3 Descrição do Processo Produtivo

Este capítulo surge da necessidade de compreender o contexto no qual este projeto se insere, sendo analisados os principais elementos associados à sua realização.

Será feita uma análise inicial, apresentando de uma forma resumida o processo produtivo de louça de hotelaria, em específico, chávenas e pires, e todos os subprocessos que estão envolvidos (Figura 5 e Figura 6).

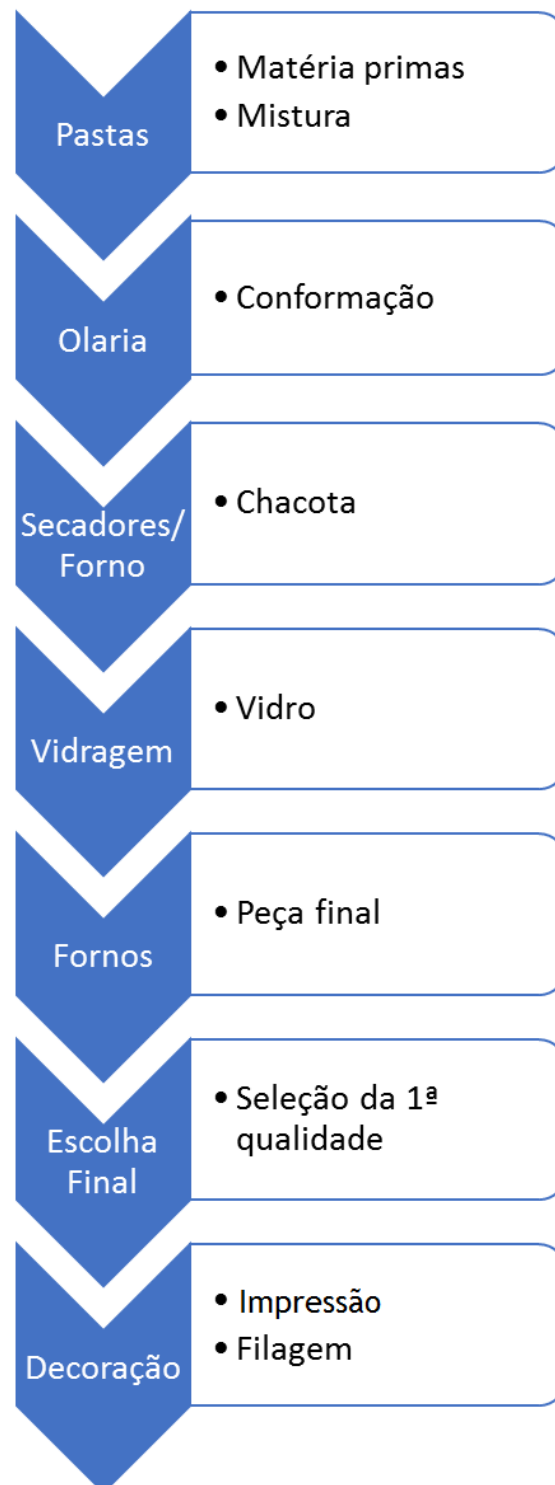


Figura 5 - Representação do processo produtivo em função das secções.

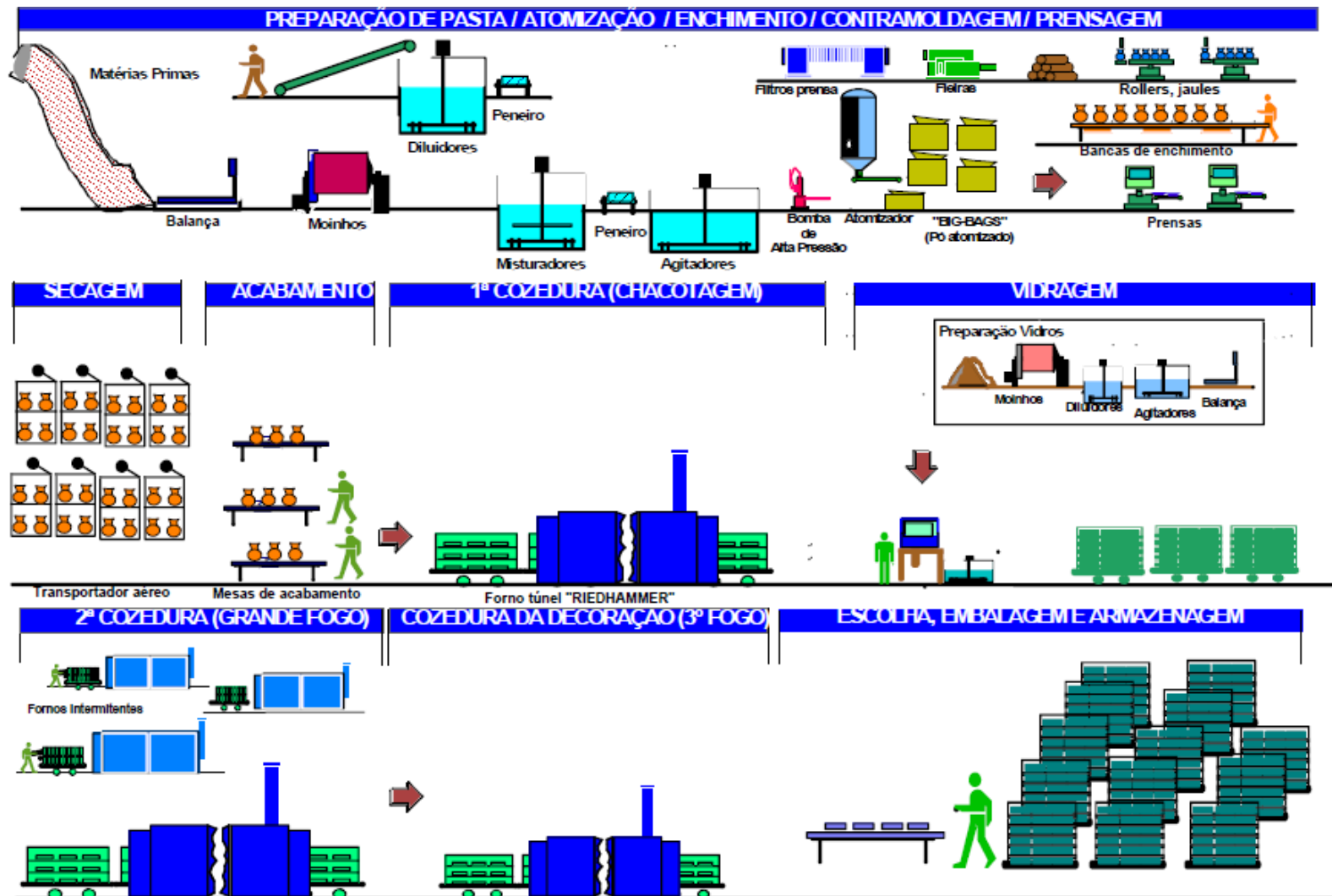


Figura 6 - Diagrama esquemático do processo de produção de louça utilitária e decorativa [10].



Existem vários métodos de conformação, aqui será apenas aprofundada a conformação por via plástica e húmida, uma vez que é este tipo de conformação que é utilizado na empresa em estudo para fabrico de chávenas e pires, isto é, a matéria-prima é misturada e antes de ser moldada apresenta uma consistência plástica, numa forma de "charuto". As asas das chávenas são conformadas a partir de pasta líquida, designada barbotina, pelo processo de enchimento automático.

As propriedades dos produtos - físicas, químicas e microestruturais, são determinantes do tipo de utilização e dependem não só das matérias-primas iniciais e das suas características, mas também, das operações de processamento e da profundidade das transformações por elas introduzidas, nas diferentes etapas do ciclo de produção.

### 3.1 Pasta

A preparação da pasta consiste, fundamentalmente, na perfeita combinação de matérias-primas plásticas, tais como caulino e argilas e matérias-primas duras tais como areia e feldspato (Figura 7).

A translucidez e a brancura intensa da porcelana conseguem-se com o doseamento e junção perfeita destas matérias-primas (Figura 8).

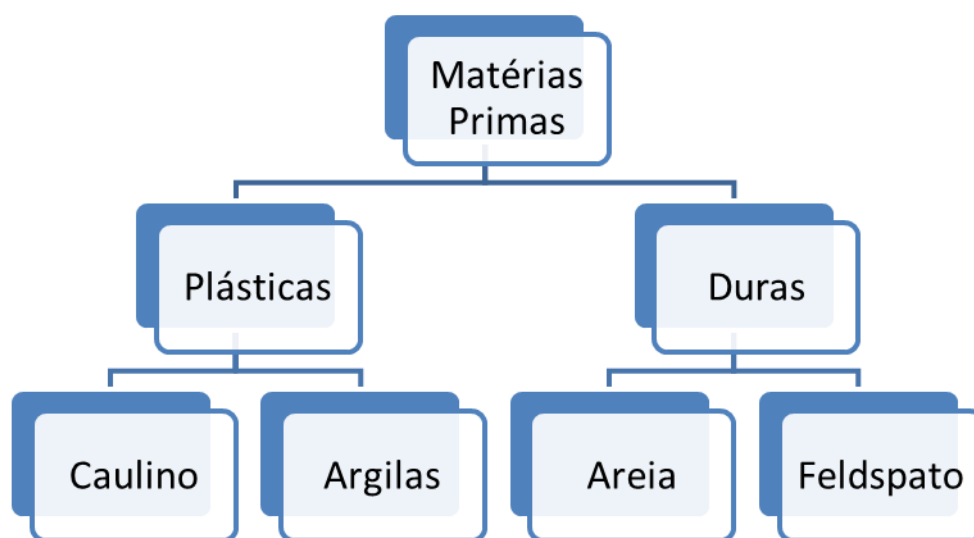


Figura 7 - Matérias-primas plásticas e duras.



Figura 8 - Ilustração das matérias-primas [11].

A composição da pasta (Tabela 2) é fundamental para obter um produto final com elevada qualidade.

Tabela 2 - Características da pasta cerâmica Poralt 10 EX do fornecedor MOTA, utilizada na Spiana [12].

Análise Química		Distribuição do tamanho de partículas	
SiO <sub>2</sub>	64,5 %	D (50)	7 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,0 %	D (90)	28 µm
K <sub>2</sub> O	3,19 %	< 20 µm	83 %
Na <sub>2</sub> O	0,63 %	< 10 µm	61 %
MgO	0,14 %	< 2 µm	16,5 %
CaO	0,19 %		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40 %	Humidade	21,0 – 23%
TiO <sub>2</sub>	0,04 %	Resíduo (45 µm)	0,04 %
L.O.I	6,9 %	Resistência à flexão (seco)	1,5 MPa

### 3.1.1 Matérias-primas

São muitas e diversificadas as formas de classificar as matérias-primas cerâmicas, de acordo com a área de interesse do classificador. A mais corrente para os utilizadores de cerâmicos é a que divide os materiais em argilosos ou plásticos, fundentes e inertes, de acordo com a função principal desempenhada por cada tipo de material [9].

Assim, o componente plástico é o que assegura trabalhabilidade ao conjunto, permitindo moldá-lo da forma desejada, após adição de quantidades apropriadas de água. Esta propriedade é fruto da pequenez e forma achatada dos filosilicatos, que constituem os argilominerais mais comuns. O material fundente ajuda a cozer mais cedo, já que sofre fusão total ou parcial a temperaturas relativamente baixas comparativamente com os restantes componentes. O material inerte designa um material menos alterado pela acção do calor, que atrasa a consolidação estrutural mas garante solidez estrutural antes da cozedura e facilita a libertação de água (com menor deformação) durante a secagem [9].

#### ▪ Caulino

O caulino define-se como uma rocha composta por minerais do grupo da caulinite (geralmente caulinite e halosite), associados ou não a outros minerais, e que apresentam, pelo menos, uma das seguintes propriedades: resistência pirosópica elevada e grau de brancura maior ou igual a 76%. Na prática, traduz-se num material que coze branco ou quase branco, e é altamente refratário, ou seja, resiste, sem fundir, a elevadas temperaturas.

Os melhores caulinos são residuais (mais puros) ou primários e contêm, além da caulinite e halosite (10-15%), restos da rocha de onde provieram, ou seja, quartzo, feldspato e micas [13].

A haloisite é um mineral de considerável interesse no fabrico da porcelana pois confere às pastas coloração muito branca. Este mineral apresenta-se em forma de placas e é composto por tubos enrolados [13].

#### ▪ **Feldspato**

A utilização dos feldspatos na indústria cerâmica deve-se principalmente à sua ação fundente. Permite a formação de uma fase líquida a temperatura mais baixa. Ao arrefecer, a fase líquida, transforma-se em vidro que liga os grãos formadores do corpo cerâmico, de modo a conferir-lhe a desejada resistência mecânica.

Os feldspatos de superior qualidade possuem baixos teores em ferro e titânio, a fim de não conferir coloração ao produto, e também reduzidos teores em cálcio e magnésio, em simultâneo com altas concentrações de alcalis, para possuírem elevada fusibilidade [13].

O feldspato diminui a densidade dos corpos cerâmicos quando estes são cozidos abaixo de 1100°C, mas acima desta temperatura o feldspato funde e contribui para aumentar a densidade relativa. O feldspato causa contração considerável no intervalo 1140°C- 1350°C devido à acentuada fusão e vitrificação.

A distribuição dimensional de grãos do feldspato moído tem influência fundamental na fusão e transparência. Quanto mais fino for o material mais elevada será a vitrificação [14].

#### ▪ **Quartzo**

O quartzo é um óxido de silício cristalino, muito abundante na natureza. O quartzo é largamente utilizado como matéria-prima cerâmica, quer em pastas quer em vidrados. Como acontece com outras matérias-primas, a sua pureza condiciona o tipo de aplicação. O quartzo é designado de inerte, na medida em que é menos alterado pela ação do calor.

Por isso, atrasa a consolidação estrutural mas garante solidez estrutural antes da cozedura e facilita a libertação de água (com menor deformação) durante a secagem.

É estruturalmente constituído pela associação de tetraedros de silício que partilham entre si, na totalidade, os oxigénios de cada vértice e podem apresentar estruturas polimórficas (tridimite e cristobalite). Estas últimas são termodinamicamente estáveis em determinadas condições de pressão e temperatura, podendo transformar-se noutras de forma mais ou menos rápida. À pressão normal, o quartzo é estável abaixo de 870°C, a tridimite entre 870 e 1470°C e a cristobalite acima desta temperatura. A transição de uma fase estável a baixa temperatura para outra de alta temperatura acarreta aumento de volume (expansão), ou seja, estas transformações de fase são acompanhadas de variações dimensionais, e devem-se ao facto das várias estruturas polimórficas possuírem densidades diferentes. Estas variações dimensionais podem acarretar problemas de estabilidade mecânica nas peças e merecem especial cuidado no processamento de cerâmicos argilosos [15].

#### ○ **Generalidades**

A indústria cerâmica debate-se com diversos problemas, nomeadamente a disponibilidade de matérias-primas com qualidade e a preço favorável. Além disso,

como as matérias-primas são de origem natural, sofrem grandes oscilações constituindo um problema na obtenção de um processo homogéneo. Esta característica provoca diferentes comportamentos tecnológicos, o que origina, como se percebe, variações nas propriedades dos produtos semiacabados ou acabados.

As matérias-primas plásticas quando misturadas com água, caracterizam-se pela sua capacidade de sofrer deformação quando sujeita a uma pressão, sem alteração da sua constituição e quando a pressão é retirada mantém a forma adquirida.

As argilas resultam da meteorização de feldspatos (contidos maioritariamente em granitos e outros minerais alumino-silicatos).

O caulino é, por excelência, o componente plástico das pastas de porcelana. Este, quando submetido ao processo de cozedura para a porcelana, à temperatura de 1420°C, apresenta cor branca. Enquanto matéria-prima, é constituído por outros componentes que se misturam durante a sua desagregação da rocha-mãe (Figura 9).

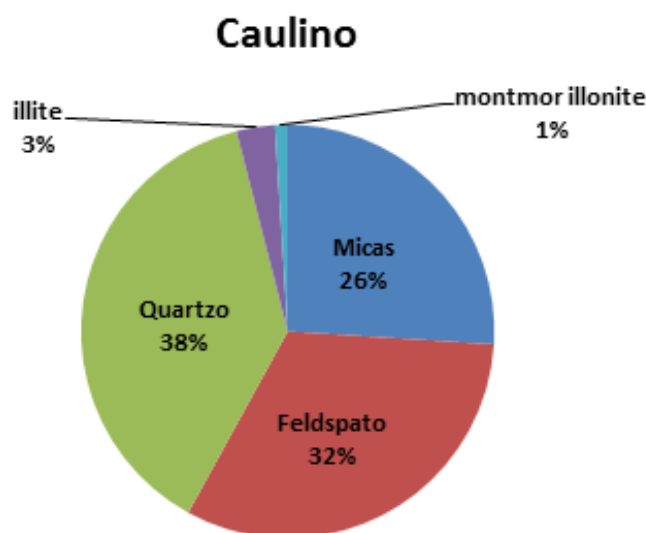


Figura 9 - Constituição do caulino, principal matéria-prima da porcelana.

À medida que se eleva a sua temperatura de cozedura, a caulinite e certos compostos provenientes diretamente da rocha-mãe podem formar vidro que vai cimentando a massa, conferindo dureza e solidez ao caulino cozido [5].

As argilas ou barros, normalmente são arrastados pelas águas e depositados longe do local de origem. Este transporte provoca separação física por tamanhos, assim, os depósitos encontrados são constituídos essencialmente por argilas de grão mais fino. Por outro lado, incorpora outras substâncias ao longo do percurso, o que aumenta a heterogeneidade da sua constituição.

Esta variabilidade de constituição permite um sem número de proporções entre minerais argilosos e outros componentes possíveis (substâncias de origem animal ou vegetal, conchas calcárias ou siliciosas, pirite, gesso e outros sais solúveis, etc.). Consequentemente, as qualidades são extremamente variáveis (Tabela 3).

Relativamente aos caulinos, as argilas são mais plásticas, devido à sua constituição orgânica, bem como ao tamanho das partículas - mais finas - esta constituição permite ainda, aumentar a resistência mecânica da pasta em cru.

As argilas durante o processo de aquecimento, tanto na secagem, como na cozedura, retraem-se mais que os caulinos. De uma forma geral a contração aumenta na proporção inversa do tamanho das partículas. As argilas são geralmente mais escuras, por isso menos usadas na pasta da porcelana [9].

Tabela 3 - Principais características das argilas [9].

Argila	Características
<b>Siliciosa</b>	Grande percentagem de areia Muito refratária Pouco plástica
<b>Calcária</b>	Comporta-se como vitrificante a temperaturas altas (devido à reação entre CaO – óxido de cálcio com a Sílica)
<b>Ferruginosa</b>	Contém compostos ferruginosos, (FeO – óxidos de ferro) quando sujeitos à temperatura de cozedura e/ou atmosfera redutora no forno, provoca cor vermelho, acastanhado ou até mesmo negra
<b>Alcalina ou de Grés</b>	Contém feldspatos alcalinos, que fundem a temperaturas baixas
<b>Nacional</b>	São de grande qualidade, por vezes apresentam grande heterogeneidade

As matérias-primas não plásticas são adicionadas às pastas cerâmicas para as estabilizar, permitem melhorar o processo de secagem, redução do encolhimento (contração), aumento de estabilidade durante a cozedura e facilitar a moldagem da pasta.

A adição das matérias duras - areias e feldspatos - vai equilibrar o comportamento das matérias plásticas, facilita o fabrico de peças sem deformações e sem fendas devido à contração da secagem.

O quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) regula o coeficiente de expansão térmica. Portanto, é importante controlar o tamanho do grão e a pureza, para permitir a transformação em cristobalite, fase polimórfica da sílica.

Nas pastas de porcelana, devem ser usadas as areias mais puras e moídas até dada granulometria rigorosamente controlada para obter maior homogeneidade.

Os feldspatos, quando moídos finamente e introduzidos nas pastas, favorecem a vitrificação a temperaturas mais baixas, diminuindo a porosidade da pasta [16].

A introdução de carbonatos permite a introdução de óxidos, no entanto pode criar problemas de decarbonização, sobretudo em ciclos de cozedura rápida.

A calcite influencia o coeficiente de dilatação das pastas e normalmente facilita a afinidade com o vidro.

A enumeração das matérias-primas, que poderão ser usadas, bem como as suas principais características, é importante para avaliar quais delas podem influenciar o produto final, bem como a ligação destas a eventuais defeitos e/ou problemas que possam surgir.

A composição da pasta cerâmica combina estas matérias-primas: plásticas e não plásticas. O processo de preparação da pasta cerâmica consiste na combinação destas matérias nas proporções certas, de forma a obter as características desejadas.

Após a caracterização da composição da pasta, inicia-se a preparação da mesma.

Antes de proceder à pesagem, deve verificar-se a percentagem de humidade de cada matéria-prima, se estas tiverem completamente secas, procede-se à pesagem nas quantidades correspondentes à composição percentual, caso contrário, é necessário ter em conta a humidade de cada componente e definir a quantidade tendo em conta a percentagem de humidade [9].

### 3.1.2 Moagem e Moinhos Cerâmicos

Como referido anteriormente, a qualidade da pasta cerâmica depende diretamente da granulometria das matérias-primas. Aqui o processo de moagem é fundamental, para obtenção das espécies químicas, que combinadas permitem as características desejadas. É necessário definir o processo de moagem e controlar a granulometria.

O processo de moagem consiste na diminuição do tamanho das partículas de um material sólido, tendo em vista o aumento da superfície livre para aumentar a velocidade de reação, permitir uma mistura mais homogénea para obter um pó com as características ideais de utilização.

A produção da pasta cerâmica consiste na preparação dos vários componentes que a constituem.

A preparação pode ser feita por três métodos, que diferem entre si devido à sua finalidade, dos quais se podem distinguir: preparação para conformação por via seca; preparação para conformação em semi húmida ou plástica e preparação para conformação por via húmida [9].

Neste trabalho o tipo de conformação mais relevante é plástica (semi húmida).

Há vários tipos de equipamentos de moagem. A escolha é feita consoante o tipo de granulometria desejada, a necessidade de obter maior homogeneização dos componentes, a eliminação de impurezas e/ou obtenção de um determinado estado físico (arranjo molecular) [5].

Para a moagem fina, recorre-se a moinhos de bolas (Figura 10), cujo princípio de funcionamento é um reservatório com forma cilíndrica, oco, que gira em volta do seu eixo. No interior contém bolas ou seixos, estes agentes mecânicos movem-se à medida que o reservatório gira, mantendo uma rotação constante e desta forma moem a matéria-prima. Estes equipamentos são aparentemente simples, no entanto, o seu funcionamento é bastante complexo, assim sendo é necessário estudar as suas variáveis (velocidade de rotação, dimensão das bolas utilizadas, etc) e critérios de utilização.

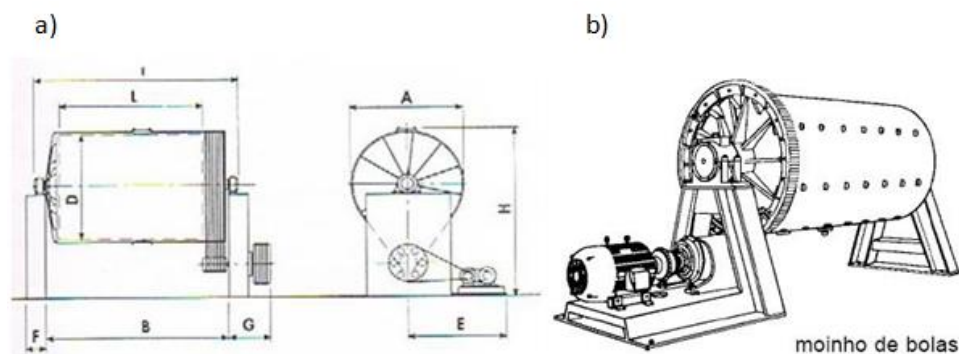


Figura 10 - Moinhos de bolas: a) representação esquemática [9] e b) vista global [17].

As principais vantagens inerentes à utilização deste tipo de moinhos são:

- ♣ Possibilidade de utilização em seco ou em húmido;
- ♣ Pode funcionar como misturador ou dispersor;
- ♣ Tem uma relação de redução relevante;
- ♣ Pode ser protegido contra a abrasão, com um revestimento evitando a contaminação dos produtos moídos;
- ♣ Permite preparar grandes massas de produtos abrasivos (e sem vigilância).

A escolha do material moente é muito complexa, tem que ter em linha de conta o material a moer e as suas características, material muito leve é arrastado, por outro lado, se for muito pesado provoca grande desperdício energético.

Após as operações de moagem e diluição, procede-se à remoção de partículas e produtos nocivos à pasta. Esses produtos podem ser de vários tipos: materiais cuja moagem não foi completa, impurezas orgânicas (restos vegetais) e partículas de ferro metálico. É de notar que as matérias-primas usadas são de origem mineral, presentes na natureza. Assim, procede-se à peneiração e desferrização, processo que permite a remoção das partículas indesejadas [9].

Um estudo efetuado por M. Ribeiro e J. Abrantes [18], relativamente à moagem em moinho de bolas, foi desenvolvido no sentido de encontrar uma relação entre a natureza da matéria-prima, da densidade da suspensão e da taxa de ocupação do moinho, durante a moagem. Após este estudo, os autores concluíram que as condições iniciais da matéria-prima condicionam a evolução do grau de moagem. Quando a matéria-prima é caracterizada por diferentes graus de dureza, esta determina a evolução da moagem. Já a granulometria só afeta a moagem quando a matéria-prima tem graus de dureza semelhantes. Quando a suspensão é mais densa, o rendimento da moagem é melhor, assim, a moagem a baixa densidade não traz vantagens. Como a baixa densidade inclui mais quantidade de água, esta também não é vantajosa nos processos que se seguem, pois estes são essencialmente para remoção de água. Ou seja, a alta densidade é mais vantajosa, por duas razões: aumento de rendimento e diminuição de tempo na remoção de água para prosseguir no processo. Por definição, taxa de ocupação do moinho refere-se à quantidade de matéria-prima a moer. No estudo que se descreve, os autores concluíram que para maiores taxas de ocupação, obtém-se maior rendimento de moagem. Assim uma carga correspondente a 25% do volume útil pode ser um bom valor de referência, para a moagem deste tipo de matérias-primas cerâmicas em moinhos de bolas.

No que concerne ao consumo energético da operação de moagem, taxas de ocupação de 20% parecem ser as adequadas para moinhos cuja carga é de 60 quilogramas. Assim a taxa de ocupação entre 20 e 25% será uma boa referência [18].

A desferrização é fundamental na preparação da pasta porcelânica, uma vez que uma das suas principais características é a brancura. A existência de ferro metálico na pasta origina manchas de cor vermelho a preto, devido à fusão do ferro aquando da cozedura da pasta. A existência destas manchas desvaloriza o produto final, sendo este rejeitado. Esta etapa do processo necessita apenas de um íman, que colocado em contacto com a pasta, retira-lhe as partículas metálicas (limalhas). Este íman pode ser retirado para limpeza de manutenção [9].

### 3.1.3 Diluição

Os moinhos de bolas são usados para moer uma parte das matérias-primas, as designadas por duras. As matérias plásticas (argilas e caulinos) são diluídas em água, para permitir uma mistura homogénea.

O diluidor mecânico usado neste processo é constituído por um motor que aciona uma hélice fixa na extremidade de um eixo (Figura 11). O conjunto é fixo à tampa de um poço ou cuba. A hélice segue um movimento de rotação motorizado, que proporciona agitação a alta velocidade, facilitando a diluição (esta é dificultada pela plasticidade das matérias usadas) (Figura 12).



Figura 11 – Motor acoplado ao diluidor mecânico.

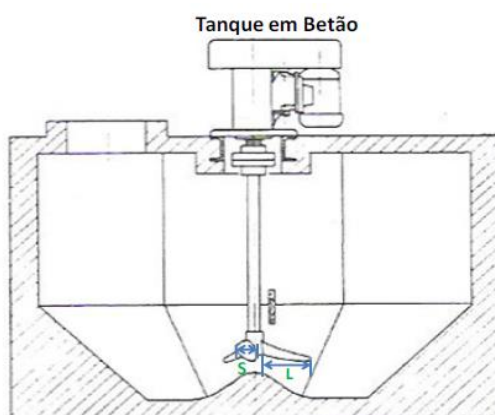


Figura 12 - Representação esquemática de um diluidor misturador [15].



### 3.1.4 Mistura

Após a moagem dos materiais duros e diluição dos plásticos, procede-se à mistura de ambos (Figura 13).

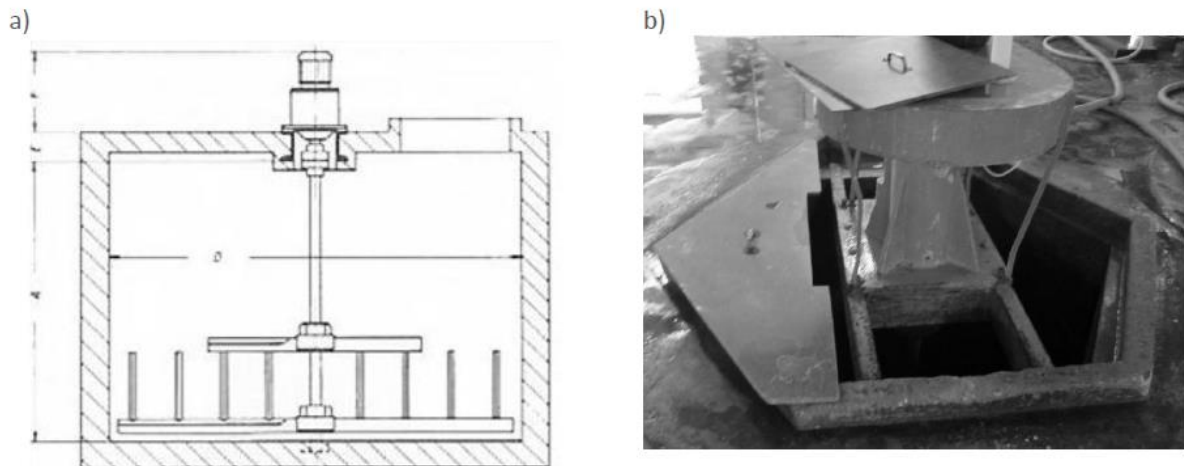


Figura 13 - Depósito subterrâneo em betão para armazenamento, com agitação contínua da suspensão: a) representação esquemática, b) fotografia [9].

Esta mistura passa no peneiro e no magnete para eliminar as partículas contaminantes, seguindo-se o armazenamento com agitação lenta contínua (Figura 14).

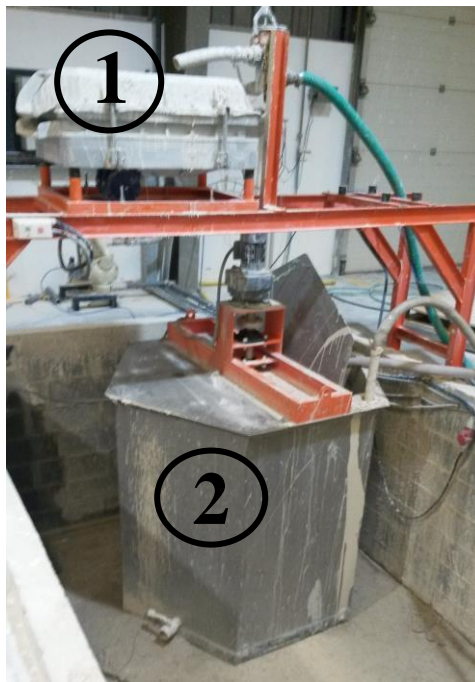


Figura 14 – 1) Peneiro e 2) tanque misturador.

Nesta fase do processo, controla-se a densidade da pasta. Esta grandeza dá a relação entre a massa volúmica de uma substância e a massa volúmica da água pura - densidade relativa. Não é conveniente adicionar demasiada água durante o processo, porque se a pasta tiver uma densidade demasiado baixa tem de ser corrigida com atacagem, o que significa introduzir resíduos da produção na pasta para a tornar mais densa (Figura 15). Esta adição na pasta torna-a muito mais suscetível de contaminação, porque estes resíduos provêm do excesso de pasta na conformação e podem ter outros resíduos que não aparas.



Figura 15 – Atacagem: a) resíduos da produção de asas; b) resíduos do fabrico de peças.

### 3.1.5 Desfloculação e Floculação

São vários os processos de preparação, que se tem vindo a referir, para que o produto final obtenha as propriedades próprias para o fim a que se destina. Há sucessivos tratamentos para que a moldagem (ou conformação), quer seja por pasta plástica, em seco ou em barbotina (via líquida), seja possível e não provoque defeitos nas peças, desvalorizando-as. Estes tipos de preparação necessitam de quantidades variáveis de água de acordo com os diferentes ciclos operativos, que permitem uma pasta homogénea e refinada.

Designa-se por desfloculação, a dispersão das partículas sólidas em suspensão aquosa para formar barbotina.

Para a preparação e purificação das matérias-primas, recorre-se a processos como a dispersão (desfloculação) e sedimentação (floculação). Existem desfloculantes e floculantes que permitem dirigir estes processos da forma que se deseja.

O fenómeno de desfloculação, no caso das matérias-primas argilosas, explica-se com base no potencial zeta (cada partícula tem um gradiente de potencial, devido à existência do núcleo muito rico em eletrões e na periferia uma intensidade de protões adsorvidos menor) [9].

A argila está em meio aquoso, portanto está ligada a moléculas de água, no entanto existem moléculas de água livres. Como a molécula de água é polar, existe uma deslocalização da carga, que promove a orientação das moléculas de água adjacentes. As partículas em suspensão no líquido estão em constante movimento, devido à desorientação das moléculas que estão no meio. Este movimento aproxima as partículas de argila que acabam por se ligar por ligações *Van der Waals*. Para distâncias muito pequenas, inferiores ao diâmetro das moléculas, estas ligações tornam-se relevantes, mantendo as partículas atraídas entre si. No entanto, existem em simultâneo as forças repulsivas causadas pelas cargas negativas existentes em todas as partículas. Assim, existem em simultâneo forças atrativas e repulsivas entre as partículas, que correspondem à separação ou aproximação das mesmas. Este facto explica o fenómeno de floculação e desfloculação [9].

Nas suspensões desfloculadas, as partículas em suspensão estão separadas e a viscosidade aparente é menor. A suspensão é fluida e estável com menor quantidade de água [9].

Relativamente a suspensões floculadas, estas apresentam maior coesão, o espaçamento entre as partículas é menor, existe maior afinidade entre as mesmas ocorrendo a presença de flocos (agregados de partículas) e para obter a mesma fluidez será necessária maior quantidade de água. A variação do potencial zeta altera o fenómeno da floculação. Assim, a adição de determinadas substâncias que promovam a variação do potencial zeta, alteram o estado da suspensão [5,16].

As suspensões de argila em água comportam-se de forma diferente do líquido.

A viscosidade define-se como a resistência que um líquido oferece ao movimento, provocado pela fricção interna entre camadas adjacentes. Um líquido, a temperatura constante mantém a viscosidade. No caso de uma suspensão, a viscosidade já não é constante porque é perturbada por movimentos mecânicos, além disso e neste caso, uma suspensão de argila, depende da sua densidade, quanto maior a densidade, maior a viscosidade. Na indústria cerâmica é habitual usar o termo fluidez, ou seja, o inverso da viscosidade. Falar numa suspensão fluida, significa, que esta tem facilidade em deslocar-se, o que equivale a uma suspensão pouco viscosa [9].

### 3.1.6 Filtro Prensa

Nesta fase da produção da pasta, as suspensões são bombeadas para os filtro prensa, onde se processa a eliminação da maior parte da água do processamento. Na Figura 16 a), está representado o modo de funcionamento das câmaras de filtração. O bolo de filtração resulta da pressão a que é sujeita a suspensão. A água é descarregada para o exterior, através de um sistema de canais de escoamento. A operação termina quando não sair líquido pelos orifícios de descarga [16].

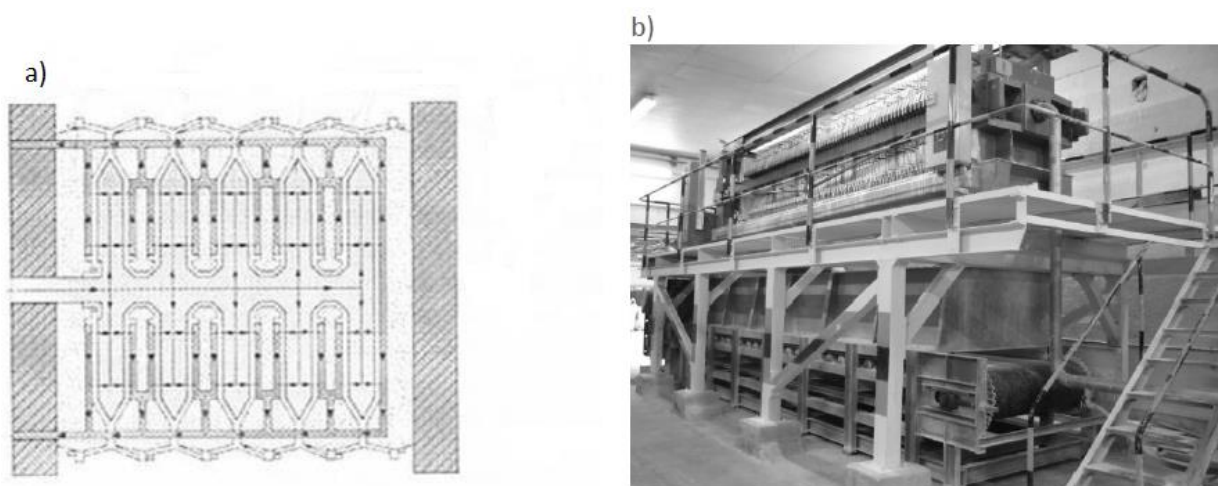


Figura 16 - Filtro prensa: a) representação esquemática e b) fotografia [16].

### 3.1.7 Fieira

Após ser retirada a água em excesso no filtro prensa, as câmaras de filtração afastam-se para o bolo filtrado ser extraído. O bolo de filtração cai sob ação da gravidade, na passadeira que o conduz até ao próximo estágio.

O bolo filtrado entra num sem-fim, onde é destrocado, para eliminar os efeitos das diferenças de humidade. Em seguida é extrudido sob vazio (Figura 17), na forma de cilindros (charutos), com diâmetro e comprimento variáveis, de acordo com a dimensão das peças a que se destina.

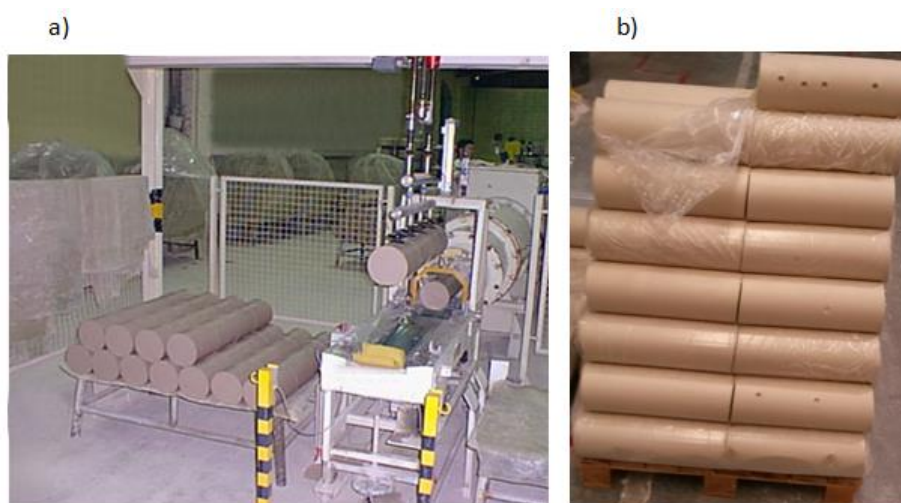


Figura 17 - a) Extração da pasta através da fieira e formação das paletes de pasta [19]; b) palete de pasta.

### 3.2 Moldes e Formas

Ao longo da história da cerâmica, foram sendo desenvolvidas novas técnicas e tecnologias para melhorar os processos. Inicialmente as peças eram moldadas manualmente com a ajuda de um torno. Usando esta técnica, cada peça é única e demora mais tempo a ser conformada. Para tornar o processo mais eficiente e obter peças iguais, foi necessário introduzir algo que permitisse moldar todas as peças da mesma maneira, para estas adquirirem igual forma - surgem os moldes e as formas.

A matéria-prima mais comum para a produção de formas e moldes é o sulfato de cálcio di-hidratado, designado vulgarmente por gesso.

O gesso cerâmico é a principal matéria-prima no fabrico de modelos, moldes e madres devido à boa capacidade de absorção de água; à sua capacidade de transmitir às peças finos pormenores; à existência de uma superfície durável e, consequentemente, à reprodutibilidade das propriedades físicas; ao baixo custo e fácil manuseamento. O gesso cerâmico é um produto de cor branca ou bege claro, produzido a partir do mineral de gesso natural [20].

Atualmente já existem outros materiais para fabricar os moldes, tais como as resinas acrílicas (no caso do enchimento sob pressão), no entanto a substância mais usada, continua a ser o "gesso".

Do ponto de vista químico, o gesso é um semi-hidrato de sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) que cristaliza no sistema monoclinico, tal como mostra a Figura 18. Este aparece na natureza com uma estrutura lamelar, com as lamelas ligadas entre si por moléculas de água.



Sob diferentes condições de pressão, temperatura e humidade, o "gesso" pode ser decomposto nas formas hemi-hidrato  $\alpha$  ou  $\beta$ , cuja representação da estrutura dos cristais se apresenta na Figura 18.

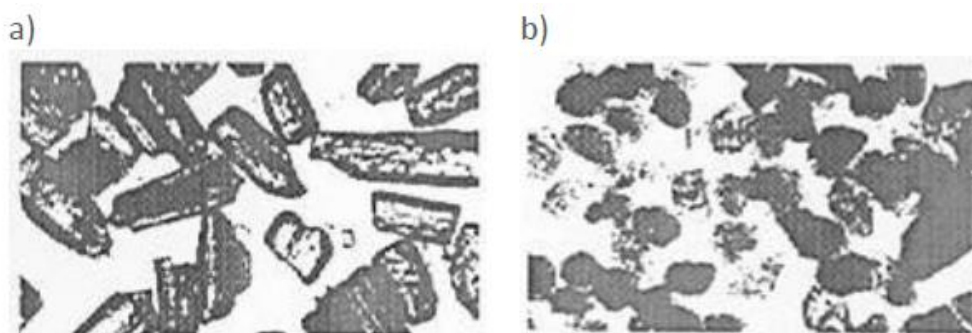


Figura 18 - Morfologia das partículas de gesso a)  $\alpha$  e b)  $\beta$  [9].

Após o tratamento térmico, os hemi-hidratos são moídos, aditivados e ensacados ou fornecidos a granel. Os cristais da forma  $\beta$  apresentam uma estrutura escamosa e forma irregular, enquanto os da forma  $\alpha$ , são densos, têm elevada cristalinidade e contorno perfeitamente definido.

O "gesso" é armazenado no estado sólido. Quando é necessário produzir formas, este é misturado com água nas proporções adequadas para a consistência que se pretende. Esta mistura é feita nas proporções massa de gesso para massa de água como mostrado na Figura 19.

A forma  $\beta$ , devido às suas características, necessita de mais quantidade de água para a mesma quantidade de massa da forma  $\alpha$ .

massa de gesso/massa de água	
forma $\alpha$	forma $\beta$
2,5 : 1	1,43 : 1

Figura 19 - Proporção das massas de gesso por massa de água, nas formas de estrutura  $\alpha$  e  $\beta$  [9].

Devido à proporção da mistura, a forma  $\alpha$  gera um di-hidrato com maior resistência mecânica, maior dureza, maior expansão e menor porosidade do que a mistura obtida com a forma  $\beta$ .

Para se fabricar em série um determinado objeto, inicia-se com um modelo em gesso - modelo A, a partir deste é obtida uma forma - forma do modelo. A partir da forma do modelo, obtém-se o seu negativo, designado por madre. A partir da madre, obtém-se as várias formas de trabalho [16].

O fabrico das madres é uma fase crítica de todo o processo. Assim, é necessário fazer uma escolha correta dos materiais a usar. A matéria-prima usada para a produção de madres deve ter pouca ou inexistente expansão, para permitir conservar as medidas desejadas na peça. A superfície da madre deve ser lisa e de grande durabilidade. Esta é a ferramenta que serve para fazer todas as formas de um objeto, por isso é fundamental que mantenha as suas características ao longo do tempo. As

madres são a referência das suas formas e podem ser armazenadas durante longos períodos, por esta razão é essencial que estas apresentem estabilidade dimensional no armazenamento e durante a utilização. O manuseamento das madres deve ser fácil e sem deterioração.

Na produção das madres usa-se vulgarmente uma resina epoxídica, Figura 20 e Figura 21, designada comercialmente por Araldite®, que é um plástico que endurece por ação de um catalisador.

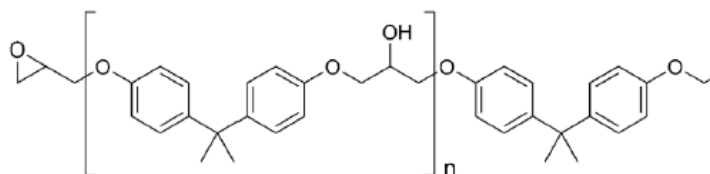


Figura 20 - Estrutura molecular de uma resina epoxídica [9].

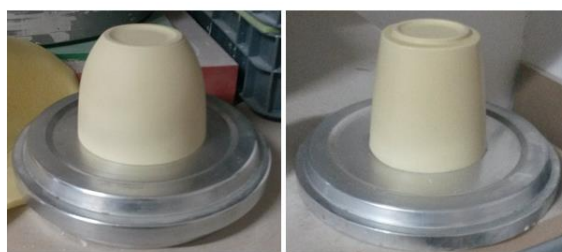


Figura 21 - Madres em resina, que permitirão obter moldes de gesso, para posterior conformação de chávenas.

Após a produção das formas (Figura 22), segue-se a etapa de hidratação, que consiste na formação da rede cristalina. A secagem do gesso é a última fase do processo.



Figura 22 – Fabrico das formas de gesso.

Quando se produzem as formas de trabalho, tal como no caso das madres, é necessário que a matéria-prima, da qual estas são produzidas, se mantenha inalterada. Desta forma, é necessário que as propriedades das matérias usadas e as condições em que decorrem as diversas operações de processamento sejam controladas e não sofram alterações significativas ao longo do tempo.

Uma escolha inadequada do gesso para a produção de formas, pode provocar vários problemas nas peças. A formação de poros no gesso durante a produção das formas provoca vários defeitos na superfície das peças, bem como a perda de detalhes

(precisão). A expansão do gesso deve ser moderada e uniforme, porém, se tal não acontecer, dificulta a extração da forma da respetiva madre. Outra das razões pela qual é importante um controlo da qualidade do gesso, prende-se com a resistência deste, formas com pouca resistência levam a um desgaste mais rápido [9].

O armazenamento do gesso deve ser cuidado, este deve estar o menor tempo possível armazenado, para evitar perda de propriedades, tal como a viscosidade (Figura 23).



Figura 23 - a) Armazenamento do gesso em pó; b) Armazenamento das formas de gesso.

Para além do cuidado com a escolha e armazenamento do gesso, também é importante referir as condicionantes que surgem no processo da produção das formas. Durante o processamento, existem variáveis que interferem na produção das formas, nomeadamente: a água utilizada (poderá conter impurezas), a temperatura da água, a velocidade de agitação da mistura e o estado de limpeza das ferramentas necessárias.

Os defeitos associados à suspensão relacionam-se com valores da viscosidade e tixotropia incorretos. Estes refletem-se nos tempos de realização de cada uma das etapas de conformação e na qualidade final dos produtos conformados. Os defeitos que podem estar relacionados com os moldes surgem essencialmente pela conceção deficiente dos moldes, adoção de procedimentos incorretos durante o seu fabrico, ou por alteração da qualidade do gesso usado. Podem provocar a existência de zonas vazias no interior da peça; peças demasiado húmidas e facilmente deformáveis, bem como formação de poros na superfície da peça ou próxima dela.

Apesar da degradação dos moldes ser responsável por muitos dos defeitos que surgem nas peças, o conhecimento dos mecanismos de degradação, permitem atuar de forma a aumentar a sua vida útil. Os moldes em gesso são uma solução económica e de utilização fácil (Figura 24).



Figura 24 – Formas de gesso prontas a serem utilizadas na conformação de peças.

### 3.3 Conformação

Na indústria da porcelana, usam-se vários métodos de conformação, como está esquematizado na Figura 25. A conformação plástica é usada nos equipamentos do tipo *Roller*, a conformação por enchimento usa pasta líquida (ou barbotina). A conformação por enchimento é uma conformação tradicional, no entanto há equipamentos que o fazem de uma forma automatizada. A prensagem isostática usa como matéria-prima uma mistura sólida - pó, sobre a qual é aplicada uma força para adquirir determinada forma [9].

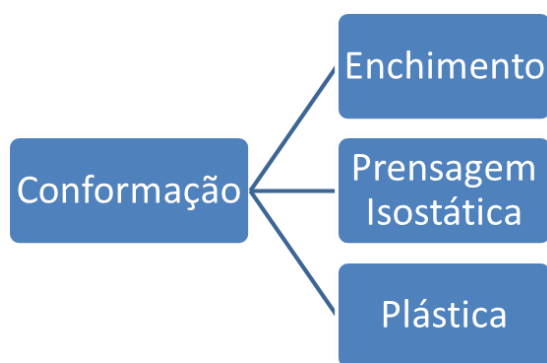


Figura 25 - Vários tipos de conformação.

#### 3.3.1 Conformação por enchimento (via líquida)

A barbotina resulta de uma diluição de pasta, obtendo-se uma suspensão de partículas sólidas, cuja concentração ponderal é de aproximadamente 31% (base húmida). É utilizada na conformação de peças de olaria por enchimento à pressão atmosférica, processo tradicional, ou por enchimento sob pressão. O enchimento sob pressão, quando comparado com o processo tradicional, permite a redução drástica do tempo de conformação das peças, praticamente sem deformações após acabamento (excluem-se as deformações devidas à piroplasticidade, ou seja, as que ocorrem durante a cozedura). Este processo utiliza a barbotina da produção, procedendo-se unicamente à otimização reológica da mesma; necessita de moldes sintéticos de porosidade controlada (resinas acrílicas), em substituição dos moldes de gesso, eliminando-se a necessidade de espaço para armazenagem de moldes e respetiva secagem [15].

O processo de enchimento tradicional é utilizado em todas as peças com formatos irregulares, e baseia-se na capacidade de absorção de água pelos moldes de gesso. A pasta líquida é vertida para o interior das formas de gesso (Figura 26). O gesso vai absorvendo a água e as partículas sólidas vão formando a parede da peça. Quando a parede da peça atinge a espessura necessária, verte-se o excesso de suspensão. De seguida, deixa-se secar um pouco para que a peça retraia, de modo a tornar possível a sua remoção [15].



Figura 26 - Máquina de enchimento tradicional [15].



O processo de enchimento sob pressão é utilizado em peças planas que têm uma forma irregular, e baseia-se na capacidade de escoamento da água através do molde sob uma pressão aplicada. Neste processo a suspensão é injetada através do tubo de enchimento para o interior do molde, sob elevada pressão, forçando a saída da água e a compactação das partículas (Figura 27) [15].



Figura 27 - Máquina de enchimento sob pressão [15].

A técnica de conformação por enchimento utiliza a pasta líquida para a conformação de peças de forma irregular. A pasta no estado líquido resulta da suspensão, em água, dos materiais moídos que constituem a pasta de porcelana. A peça permanece então no interior do molde, de onde é retirada após algum tempo de secagem, o que torna possível o cuidadoso manuseamento da mesma. Para além do enchimento, existem ainda as técnicas de contramoldagem e prensagem isostática.

### 3.3.2 Conformação por prensagem isostática (via seca)

A pasta seca ou o pó granulado/atomizado, com um conteúdo de humidade de 2 a 3 % (base húmida), são utilizados na conformação por prensagem isostática de peças planas, tais como pratos e pires. Este tipo de conformação assegura elevada capacidade de produção, com o emprego de pouca mão-de-obra. O pó é injetado no molde e de seguida é aplicada uma pressão de modo a compactar os grãos entre as duas partes do molde. Obtêm-se as peças já secas, sendo acabadas à saída da máquina (Figura 28) [15].



Figura 28 - Prensa isostática [15].

### 3.3.3 Conformação por contramoldagem (via plástica)

A pasta plástica, com um conteúdo de água de aproximadamente 24 % (base húmida), é utilizada na conformação em máquinas *Roller*, por contramoldagem de peças planas, chávenas e peças ocas abertas com um eixo de simetria [15].

A pasta é colocada na forma de gesso, que tem o formato interior (ou exterior) da peça que se quer obter, sendo em seguida contramoldado o exterior (ou interior)

da peça por meio de um punção metálico rotativo, que tem o formato da peça (Figura 29 e Figura 30) [15].



Figura 29 - Máquina roller [15].

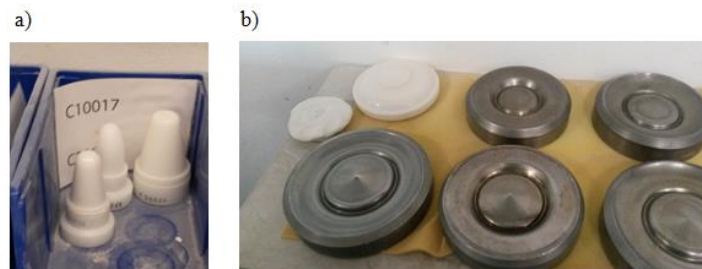


Figura 30 - a) Cabeças de *nylon* para conformar chávenas; b) cabeças de *nylon* e aço para conformar pires.

Neste trabalho, a conformação plástica por *roller* é o método que será mais aprofundado, no entanto as peças em causa são específicas da linha de pires e chávenas e na sua maioria, são constituídas por um corpo e uma asa, em que a asa é conformada por enchimento.

A conformação por *roller* é o processo de conformação plástica mais usado na porcelana. Para peças simétricas consegue ter um rendimento superior aos outros tipos de conformação. Este tipo de equipamentos poderá ter apenas uma cabeça, ou, como nas mais modernas linhas automáticas, várias cabeças. A conformação pode ser interna ou externa, tal como se apresenta na Figura 31.

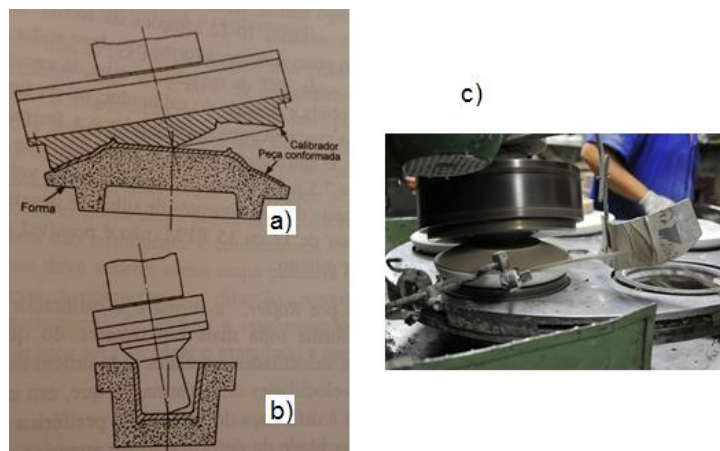


Figura 31 - Conformação plástica, por roller: a) esquematiza-se a conformação externa e na figura b) a conformação interna [16], c) foto de uma linha de pires com uma cabeça de metálica.

Apesar de todas estas variantes, o princípio de funcionamento de uma *roller* é sempre o mesmo, distinguindo-se as seguintes etapas, no caso da conformação externa [16]:

- ✦ O molde de gesso, com uma pastilha de pasta, é posicionado no suporte. A fixação da forma ao suporte e da pastilha de pasta ao molde é realizada através de vazio criado no interior do suporte;
- ✦ Devido ao movimento de subida do suporte, ou à descida do calibrador, ou dos dois movimentos em simultâneo, a distância entre a forma e o calibrador é gradualmente reduzida, até um valor mínimo que estabelece a espessura da peça conformada. Daqui resulta a prensagem do centro da pastilha de pasta, o que origina o seu escoamento na direção externa;
- ✦ Para que a pasta escoada para a periferia possa continuar a ser prensada, o calibrador inclina-se e o seu eixo faz um ângulo de aproximadamente  $15^\circ$  com a vertical;
- ✦ Devido às diferenças de velocidade periférica, entre o molde e o calibrador, a pasta sobre o molde é sujeita a esforços tangenciais, que originam grandes velocidades de deformação. Devido a estes esforços tangenciais, conjugados com os esforços de compressão, a espessura da pasta vai diminuindo. O excesso de pasta é removido pela ação do cortador;

Terminada a conformação, a forma e o calibrador separam-se e retomam as posições iniciais. Uma nova forma toma a posição da anterior, e o ciclo repete-se (Figura 32).



Figura 32 - Conformação de pires e posterior introdução das peças acopladas às formas no secador da *roller*.

Uma condição essencial para o bom funcionamento duma máquina *roller* é que os movimentos do calibrador sejam suaves. É por isso que os perfis das cames, correspondentes aos movimentos do calibrador, têm um andamento sinusoidal.

Ao longo do tempo tem-se verificado que, para conformar, por exemplo, um prato, são necessárias 10-12 rotações da forma. Se admitirmos que, para conformar o prato anterior, a forma não deve rodar a mais do que 300 rotações por minuto (RPM) e que, por cada  $360^\circ$  de rotação do eixo de cames, que comanda o movimento de subida e descida do calibrador, ou da forma, somente  $110^\circ$  correspondem ao contacto entre o calibrador e a forma, o tempo mínimo de conformação é aproximadamente 8 segundos e o número de peças conformadas é de 7,5 por minuto. Isto é, ainda que a velocidade de rotação da came de comando dos movimentos de subida e descida do

calibrador ou da forma possa ser de 12 ou 15 RPM, não é possível conformar mais do que 7,5 peças por minuto [16].

Na conformação por *roller*, a forma e o calibrador rodam no mesmo sentido, mas a forma roda mais rapidamente do que o calibrador. A diferença entre as velocidades angulares é da ordem dos 2-3%. Geram-se, assim, elevadas velocidades de deformação que, em cada ponto da peça, são proporcionais à diferença de velocidade periférica entre o calibrador e a forma. Se a velocidade de deformação for superior a  $450 \text{ s}^{-1}$ , a pasta de porcelana sofre escoamento Newtoniano, o que é um pré-requisito para eliminação de texturas residuais, introduzidas na fase de extrusão da pasta. Contudo, este escoamento não ocorre no centro da peça, onde as velocidades periféricas são muito mais baixas. Deste modo, as texturas características da extrusão mantêm-se, podendo originar as conhecidas fissuras em S, durante a secagem [16].

Para evitar que a pasta adira ao calibrador, este é aquecido. O efeito do aquecimento é a criação de uma película de vapor entre o calibrador e a pasta, que evita a separação da pasta da forma. O limite superior, da temperatura atingida pelo calibrador, corresponde à situação em que ocorre a microfissuração da superfície da peça conformada.

Para eliminar excentricidades e texturas indesejáveis das pastilhas de pasta, é necessário trabalhar com um excesso de pasta, relativamente ao que é estritamente necessário para conformar a peça. Em peças pequenas, em que as pastilhas de pasta são colocadas diretamente sobre a forma, sem qualquer tratamento prévio, o excesso de pasta é removido pelo cortador, durante a conformação, e representa entre 20 e 50% da massa da peça verde conformada. Em peças de grandes dimensões, frequentemente, o disco de pasta é primeiro prensado, antes de ser colocado sobre a forma. Nesta operação, a altura da pastilha é reduzida para cerca 2/3 da sua altura inicial e o seu diâmetro é aproximadamente igual ao do fundo da peça. O excesso de pasta é removido por um cortador e representa entre 30-40% da massa do objeto verde conformado. O disco assim obtido ainda contém 30-40% de excesso de pasta, relativamente à massa do objeto verde conformado, o qual é removido durante a conformação [16].

A conformação por *roller* origina grande quantidade de aparas, a qual representa entre 30 a 80 % da quantidade de louça verde produzida [16]. No entanto, na empresa Spiana a quantidade de aparas ronda os 20%.

Esta pasta residual está sujeita a alterações de humidade e textura e até pode incorporar gesso. Assim, esta pasta residual, designada aparas, pode ser introduzida no processo, desde que seja numa fase inicial para passar as fases de diluição, peneiração, separação magnética e filtro-prensagem, afastando o risco de contaminação. Estas aparas quando usadas novamente no processo, designam-se atacagem e servem para regular a densidade da pasta "virgem", como já foi referido na secção relativa a produção de pastas.

Após conformação, todas as peças estão sujeitas à operação de acabamento. O acabamento permite tirar automaticamente e/ou manualmente a rebarba das peças ou suavizar a superfície das peças.

### 3.4 Secagem na *Roller*

Após a conformação, as peças são secas. O processo de secagem é controlado, de modo a garantir o equilíbrio entre a taxa de difusão da água do interior da peça para a superfície e a razão de evaporação da mesma à superfície da peça.

Todas as máquinas de conformação têm secadores associados (Figura 33), com exceção da prensa isostática.



Figura 33 - Secador da roller dos pires.

Após a conformação, as peças, com teores de humidade da ordem dos 20%, permanecem aderentes à superfície da forma de gesso. Se fosse possível realizar a desmoldagem, logo após a conformação, os esforços de desmoldagem seriam suficientes para as deformar, ou então, elas deformariam, sob a ação da sua própria massa, após a desmoldagem [16].

Assim, torna-se necessário que haja algum endurecimento da pasta, para que as peças possam ser desmoldadas em segurança e sem riscos de deformação posterior. Por outro lado, a separação das peças do molde ocorrerá facilmente, se se verificar alguma retração do objeto conformado, o que permitirá que a peça seja completamente libertada e facilmente desmoldada. É por estas razões que, na primeira fase da secagem, em que ocorre a maior parte da retração, o molde acompanha a peça (Figura 34). Simultaneamente com a secagem da peça ocorre também a secagem do molde, o que permite utilizá-lo de novo, imediatamente a seguir à desmoldagem do produto. Contudo, se o gesso do molde for submetido a temperaturas superiores a 40°C, a sua degradação é fortemente acelerada, com perdas acentuadas de resistência mecânica, que os inutilizam, a breve trecho. É por este conjunto de razões que os secadores por convecção, acoplados às máquinas *roller* e de enchimento automático, funcionam com limites apertados de humidade relativa (40-60%) e de temperatura (40-60°C) [16].



Figura 34 – Peças e formas a percorrer o ciclo de secagem no interior do secador da *roller*.



Não é possível eliminar toda a água de processamento, usando sistemas de secagem por convecção, em que o ar de secagem apresenta temperaturas e humidades relativas, como as indicadas anteriormente. Contudo, elas são suficientes, para proporcionarem uma desmoldagem fácil e garantir que as peças conformadas adquirirem a consistência necessária, para não deformarem depois de desmoldadas. Com aquelas condições hidronométricas, uma pasta argilosa, como a da porcelana, ainda contém 12-16% de humidade, e uma muito fraca resistência mecânica, para poder ser manuseada em segurança. Nesta fase de secagem, as peças cerâmicas adquirem uma consistência comparável ao couro (facilmente riscadas pela unha), razão pela qual a operação é designada por “secagem à consistência couro” [16].

### 3.5 Acabamento na *Roller*

Chama-se acabamento à operação de aperfeiçoamento das peças através da eliminação de “rebarbas”, alisamento das superfícies, remoção do excesso de pasta, colagem de asas, etc. (Figura 35) [15].



Figura 35 - Célula de acabamento manual [15].

Deve referir-se que, em muitas situações, a desmoldagem e o acabamento, à saída do primeiro secador (Figura 36), e a transferência das peças desmoldadas, para o secador de branco, realizam-se de modo inteiramente automático.

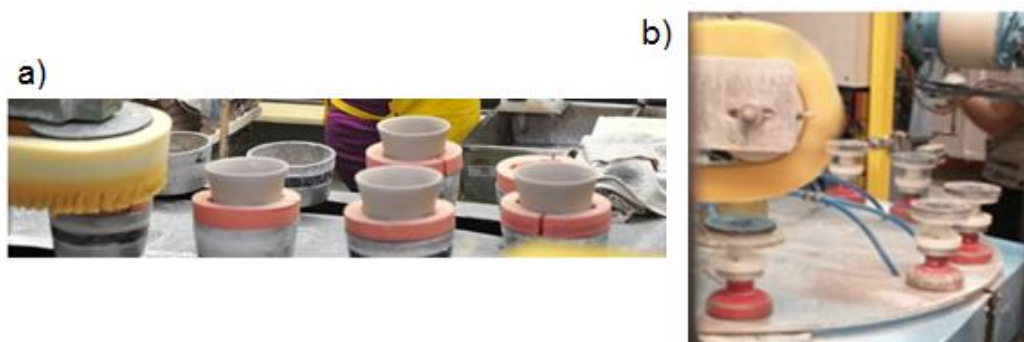


Figura 36 - Operações de acabamento automático na *roller*.

Em algumas unidades industriais, apenas existe o “secador de couro”. Após a desmoldagem, as peças são imediatamente acabadas. Esta operação resume-se, praticamente, à eliminação das rebarbas dos bordos, seguida do esponjamento, para eliminação das imperfeições deixadas pelo raspador [16].

A aplicação de elementos complementares das peças especiais, como as asas das chávenas, realiza-se após a secagem, à consistência couro.

### 3.6 Secagem

A ocorrência de gradientes térmicos e de humidade durante o processo de eliminação da água dá lugar ao aparecimento de tensões mecânicas, suscetíveis de gerar defeitos nos produtos, deformações e fissuras, que inutilizam ou baixam os níveis de qualidade [15].

A velocidade a que decorre o processo de secagem depende de fatores externos (temperatura, humidade relativa e velocidade de circulação do ar, área de superfície exposta e pressão total) e de fatores internos (natureza física, estrutura, teor de humidade, temperatura e espessura do sólido) [15].

Os sistemas de secagem destinam-se a eliminar o líquido de processamento presente nos produtos conformados, nas matérias-primas ou nos sistemas que vão ser submetidos a operações de conformação. No primeiro caso é importante manter a integridade física dos produtos, devendo evitar-se o aparecimento de fissuras e empenos, e no segundo devem ser preservadas certas propriedades físicas, determinantes do sucesso das operações de processamento posteriores [16].

Neste processo é importante conhecer o comportamento dimensional da pasta, para se poder estabelecer um plano de secagem, pois quando as variações dimensionais terminam, o resto da água é eliminada facilmente. As argilas têm curvas de retração variáveis com a sua natureza, distribuição dimensional, grau de empacotamento das partículas, etc. As pastas cerâmicas retraem menos que as argilas puras, porque contêm materiais não plásticos [15].

Um dos problemas frequentes no processo de secagem é a ocorrência de empenos. Existem várias causas associadas ao surgimento deste defeito, frequentemente múltiplas e interativas. Uma delas é o gradiente de humidade na peça conformada. Por exemplo, ao secar uma peça obtida pelo método de enchimento tradicional, que pode ter um dos lados com mais humidade do que outro, a retração do lado mais húmido vai ser superior. Também a segregação de partículas pode causar este defeito, sendo potenciada por gradientes de escoamento (empacotamento diferencial) na operação de enchimento. A orientação preferencial de partículas de argila é frequente no enchimento tradicional num sistema de parede simples. As placas de argila mais próximas da superfície do molde dispõem-se paralelamente a este à medida que se vai formando a parede, enquanto as partículas mais afastadas se dispõem aleatoriamente. A secagem e a cozedura promovem retrações diferenciais, originando empeno das peças [21].

Do ponto de vista industrial, a secagem é uma das fases mais delicadas de todo o processo produtivo cerâmico, nesta fase associam-se as perdas de massa e a variação das dimensões do corpo cerâmico [15]. Os fatores económicos são de grande importância, e nesta fase são extremamente elevados devido aos gastos energéticos.

Quando um sólido é submetido a uma operação de secagem térmica, ocorrem em simultâneo dois processos de transferência: saída de água ( $H_2O$ ) e entrada de energia (Figura 37):

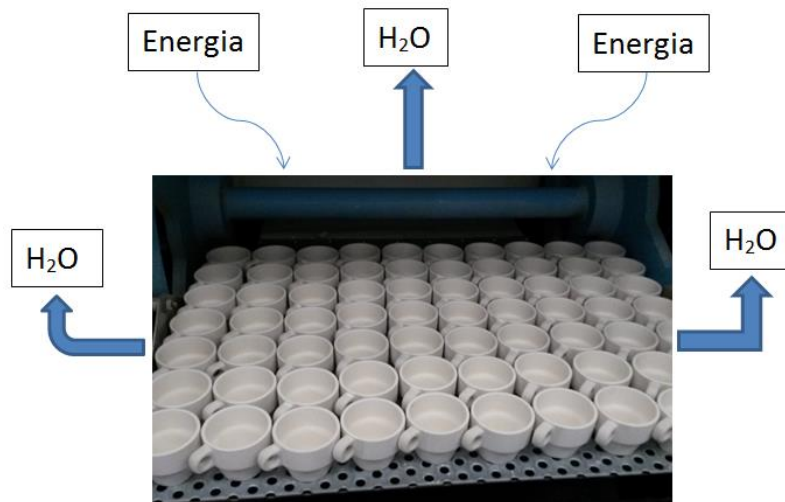


Figura 37 - Esquema dos fenómenos ocorridos durante a operação de secagem de chávenas (gradientes térmicos e de humidade).

A secagem é uma das operações da produção dos produtos cerâmicos que causa grande preocupação, devido ao consumo elevado de energia e por ser responsável por defeitos que inutilizam os produtos.

Após a secagem no secador a uma temperatura entre 60 e 80°C, em que a humidade é reduzida a 2%, os produtos podem ser submetidos a uma primeira operação de cozedura (chacotagem), servindo para consolidar a base.

A operação de secagem destina-se a eliminar a água de processamento presente nas peças conformadas, para aumentar a resistência mecânica dos produtos crus, de modo a suportarem as operações de acabamento, e prepará-los para a operação de cozedura.

A fase seguinte da secagem, a seguir à desmoldagem, realiza-se sem a presença dos moldes em gesso. Neste caso, as condições hidrométricas do ar de secagem (mistura de produtos da combustão do combustível com ar) são claramente mais violentas do que as do secador anterior, podendo atingir temperaturas entre 90-120°C e muito baixas humidades relativas. No final da segunda fase da secagem, os produtos secos adquirem a cor branca (Figura 38 a), e daí a razão da designação de “secador de branco”, atribuída ao segundo secador (Figura 38 b).

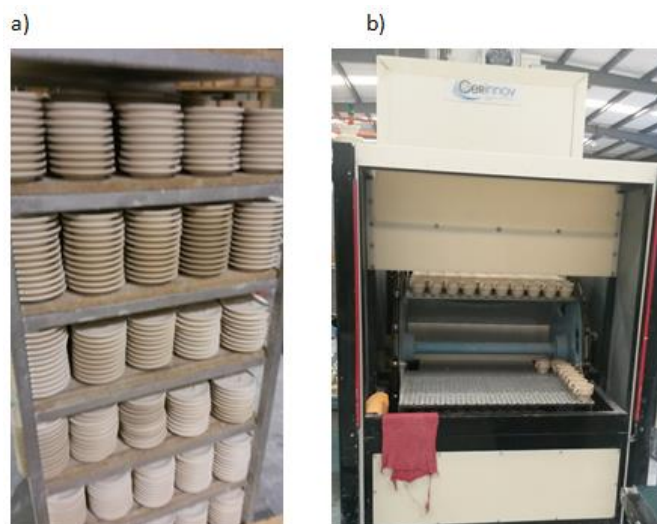


Figura 38 – a) Carrinho com pires secos; b) Secador de branco de chávenas.



Na Figura 39, mostra-se um secador de “couro” e um secador de branco, associados à máquina *roller*.

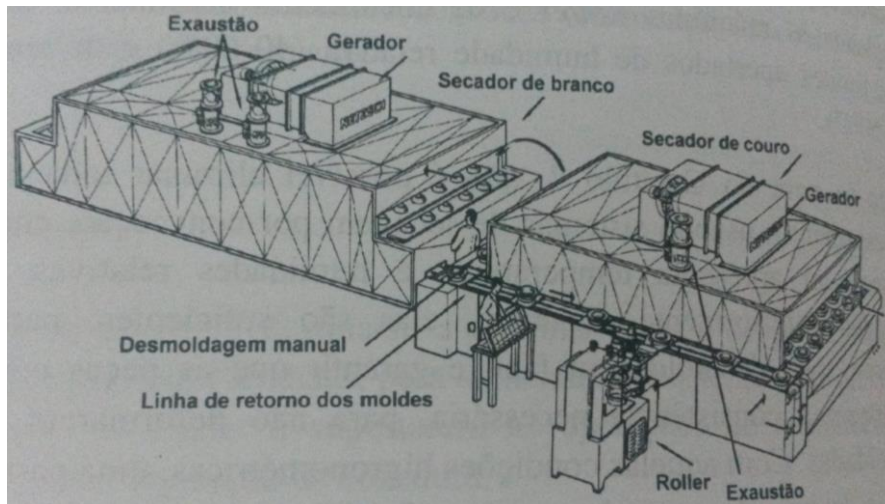


Figura 39 – Secador de “couro” e de branco [16].

A última fase da secagem realiza-se num secador de câmaras, ou outro tipo de secador, em que se utiliza o ar quente da recuperação dos fornos.

### 3.7 Chacotagem

Depois da secagem final, em que a humidade é inferior a 2%, os produtos podem ser submetidos a uma primeira operação de cozedura (chacotagem), a temperaturas que se situam entre 900-1050°C, destinada a consolidar o suporte (Figura 40) [16]. A temperatura máxima de chacotagem utilizada na Spiana ronda os 850°C.



Figura 40 – Móvel de chávenas, no interior do forno de chacotagem, prontas para a 1ª cozedura.

A curva de cozedura (Figura 41), também designada por ciclo de cozedura é um programa de subida de temperatura em função de um determinado período de tempo. O cálculo da curva de cozedura está dependente de dois factores: tipo de forno e reacções físicas e químicas [22].

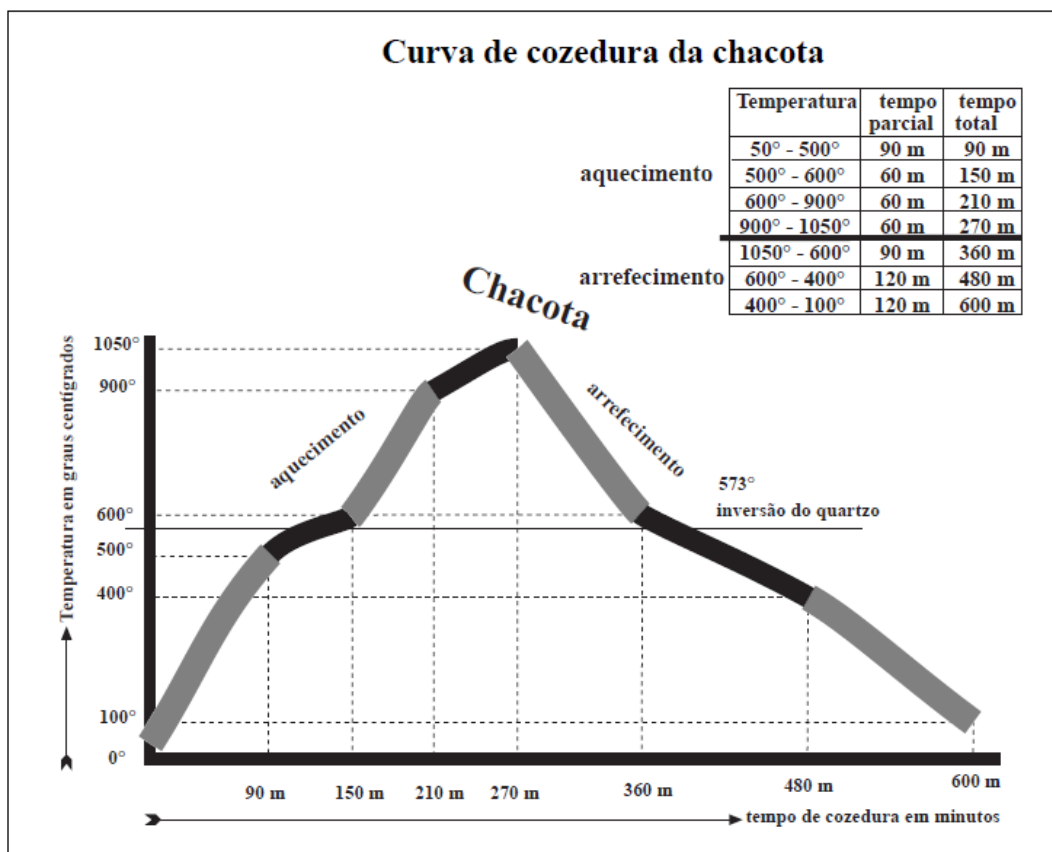


Figura 41 - Na curva de cozedura são identificados a traço grosso os três momentos críticos: entre os 500°C e 600°C, 900°C e 1.050°C e os 600°C e 400°C [22].

Estes factores determinam uma maior atenção entre determinadas temperaturas consideradas críticas.

A cozedura da chacota, conforme se observa, decorre, aproximadamente, num espaço de 10 horas seguidas. A temperatura programada é de 1050°C (Figura 41). Na Spiana, a duração do ciclo de chacotagem é de, aproximadamente, 11 horas.

Verifica-se que a cozedura dura, aproximadamente, 4 horas 30 minutos, enquanto o arrefecimento 5 horas 30 minutos. O arrefecimento mesmo não sendo controlado, é mais rápido quando termina a cozedura. A partir dos 400°C é extremamente lento. A curva de cozedura é realçada entre os 500°C e 600°C, tanto no aquecimento como no arrefecimento, por ser o momento da transformação do quartzo. A mesma atenção é observável entre os 900°C e os 1050°C, período da cristalização da massa de argila [22].

As peças chacotadas, em que a absorção de água é da ordem dos 20% e a resistência mecânica se situa em torno dos 9,8 MPa, são vidradas e depois submetidas à cozedura de alto fogo, a temperaturas que se situam entre 1350-1400°C. Este é o processo de fabrico por bicozedura. No processo de monocozedura, as peças, depois de secas, são vidradas e cozidas, a temperaturas idênticas às referidas, para a bicozedura [16].

Para que as peças possam ser vidradas devem ser chacotadas (Figura 42). Esta cozedura pode ser omitida no processo produtivo de peças pequenas, mais

resistentes, desde que estas estejam bem secas, poupando espaço no forno, tempo e consecutivamente dinheiro.



Figura 42 – Chávenas chacotadas.

As peças ficam com menos humidade e maior resistência mecânica. Este tipo de fabrico é denominado bicozedura, tal como esquematiza a Figura 43.

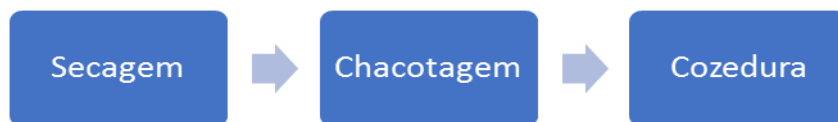


Figura 43 - Representação do processo por bicozedura.

Quando as peças, depois de secas são cozidas de imediato, sem passar pelo estágio de chacote, o processo denomina-se monocozedura, Figura 44.



Figura 44 - Representação do processo por monocozedura.

O tipo de forno usado varia de acordo com a produção realizada. Em unidades de pequena dimensão, usam-se fornos intermitentes (Figura 45), quase sempre aquecidos a gás. Em unidades de grande dimensão, usam-se fornos túnel de chama livre e gás como combustível [16].

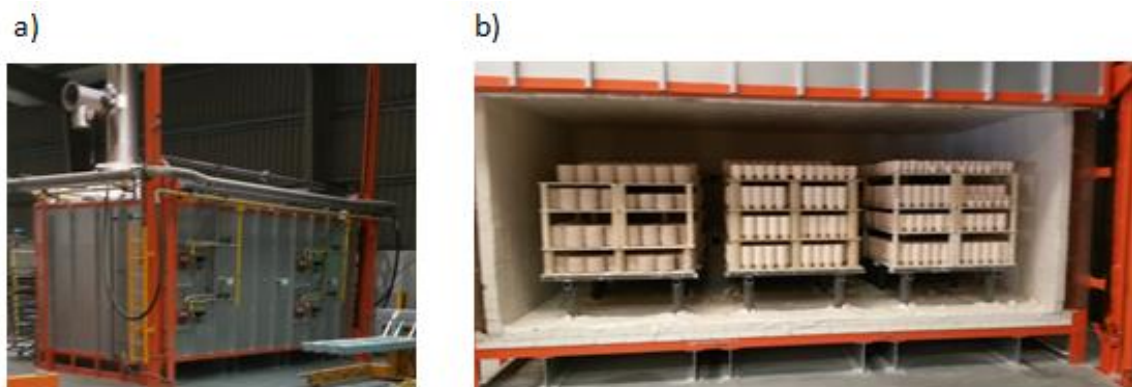


Figura 45 - a) Forno de chacotagem a cozer; b) Forno de chacotagem após cozedura.

### 3.8 Vidragem

A vidragem consiste em recobrir as peças com uma suspensão de vidro, opcionalmente colorido ou transparente. Após cozedura a alta temperatura, a camada de vidro confere à superfície das peças um brilho agradável e torna a superfície macia ao tato e de fácil limpeza, constituindo um suporte ideal para aplicação de tintas e metais nobres utilizados na sua decoração. Como a principal característica da porcelana relativamente a outros materiais cerâmicos é a sua brancura, o vidro usado é normalmente transparente. Este confere-lhe ainda maior resistência química, resistência à abrasão e impermeabilidade. No entanto, pode ser aplicada uma técnica diferente, que consiste em passar à segunda cozedura sem que a peça seja vidrada, dando origem a peças com um aspeto bem diferente, sem brilho, denominadas *biscuit*. Esta técnica é usada principalmente em peças que necessitam de ser mais translúcidas, como os *t-light* - suportes de velas - estas peças não são vidradas e são cozidas a 1420°C. A aplicação dos vidros pode ser manual ou automatizada, em qualquer um dos casos o aspeto do vidro, é uma suspensão aquosa de sólidos ("leitosa"), com massa específica  $\rho = [1,3 ; 1,4] \text{ g/cm}^3$  (Figura 46). É importante fazer um controlo reológico à suspensão, para garantir uma boa qualidade final do vidro, após a cozedura [16].



Figura 46 - Vidrado.

O vidro é uma suspensão composta por água e vidro (Tabela 4). O vidro é fornecido na fase sólida, que após a sua diluição em água, é adicionado à suspensão.

Tabela 4 - Características do vidro VDAT 10T do fornecedor MOTA utilizado na empresa Spiana [23].

Análise Química		Distribuição do tamanho de partículas	
SiO <sub>2</sub>	67,7 %	D (50)	4,6 µm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,8 %	D (90)	13,5 µm
K <sub>2</sub> O	2,4 %	< 20 µm	97,0 %
Na <sub>2</sub> O	0,42 %	< 10 µm	80,0 %
MgO	1,7 %	< 2 µm	22,0 %
CaO	6,4 %		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,20 %		
TiO <sub>2</sub>	0,08 %		
L.O.I	8,3 %	Resíduo (32 µm)	0,04 %

A formação da película de vidro não deve ser excessivamente rápida, para que não fiquem retidas grandes quantidades de ar, que geram imperfeições no vidro cozido, mas também, não deve ser excessivamente lenta para não ocorrerem escorrimentos (acumulação de vidro nas partes horizontais e deficiência nas verticais). A película de vidro deve consolidar suficientemente e ser aderente à superfície recoberta, para que a peça possa ser manuseada de modo fácil, sem provocar defeitos superficiais [5,16].

A vidragem realiza-se por imersão ou mergulho, por cortina (vidragem externa), esguicho (vidragem interna) e por pulverização (Figura 47). O último sistema é o normalmente usado na vidragem de peças de monoczedura [16].

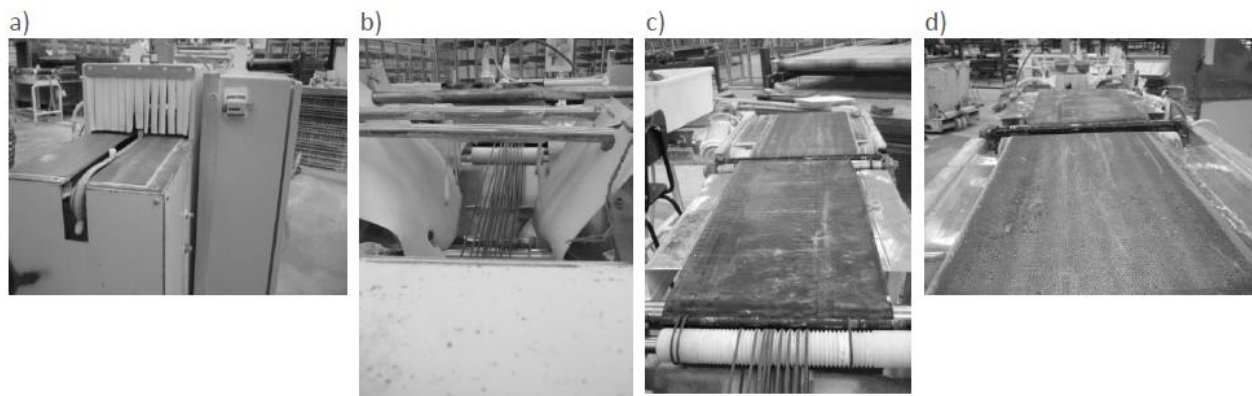


Figura 47 - Imagens da linha de vidragem automática de chávenas, a) colocação das chávenas, b) vidragem pela técnica de cortina e esguicho, c) tapete de transporte e d) zona de limpeza para remover o excesso de vidro presente na base das peças [9].

Antes do processo de vidrar, as peças são limpas para garantir uma boa e total aderência do vidro. A limpeza pode ser efetuada recorrendo a ar comprimido, esponjas humedecidas ou escovas [16]. Na Figura 48 está uma unidade de despoeiramento, que aspira o pó, à medida que são limpas as peças, para evitar problemas de saúde aos colaboradores.



Figura 48 - Unidade de despoeiramento para limpar as peças antes da vidragem [9].

Depois de vidradas (Figura 49 a), as peças terão que ser limpas em certas zonas (remoção de vidro), por exemplo no frete (parte inferior - base - das peças) ou nas beiras, fazendo passar as peças após o vidro por um tapete de veludo humedecido (Figura 49 b), para impedir a sua colagem nas placas refratárias durante a cozedura de alto fogo.



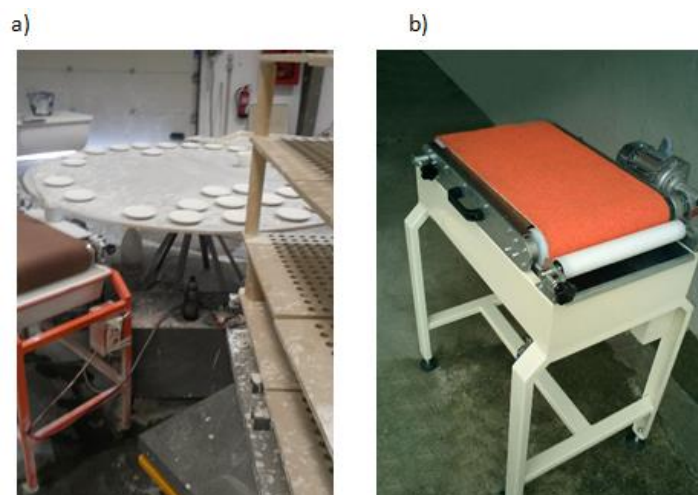


Figura 49 – a) Mesa com pires a secar, após serem vidrados, para serem limpos no frete; b) Tapete de veludo humedecido utilizado para limpeza dos fretes das peças.

Na vidragem por mergulho, a peça é imersa numa suspensão de vidrado (Figura 50), cujas características reológicas são controladas, de forma a garantir a formação de uma camada uniforme de vidrado na superfície da peça, através de um processo da absorção pelo chacote poroso [24].



Figura 50 - Operário a mergulhar a peça na suspensão de vidrado [15].

A densidade e a viscosidade ótimas de trabalho de cada vidrado dependem do tempo de imersão e da percentagem e velocidade de absorção de água do chacote [24]. No entanto, valores adequados para a densidade deverão estar compreendidos entre 1,3 e 1,4 g/cm<sup>3</sup> [16]. No que diz respeito à viscosidade, quando medida com uma taça *ford* nº2 (orifício de 2 mm de diâmetro), valores adequados deverão estar compreendidos entre 40 e 50 segundos (tempo de escoamento) [25].

Uma reologia não adequada do vidrado pode provocar defeitos, como por exemplo pingos, que afetam a homogeneidade da cor dos vidrados coloridos [24].

Na vidragem com pistola, a suspensão de vidrado é pulverizada sobre a peça em rotação. A espessura da camada de vidrado depende do caudal de vidro que alimenta a pistola, das características reológicas do vidrado (densidade e viscosidade), da percentagem de absorção de água do chacote e das condições de pulverização (caudal de vidrado e velocidade de rotação da peça) [24].

A espessura da camada de vidrado sobre a peça deve ser uniforme, pelo que é importante que o vidrado tenha as características mais indicadas para as condições de vidragem utilizadas [24].

### 3.9 Cozedura do vidrado

Esta fase do processo consiste em submeter as peças vidradas à cozedura de alta temperatura, 1420°C e atmosfera redutora (Figura 51).



Figura 51 – Mobília carregada com pires e chávenas vidradas, prontas a serem sujeitas à cozedura do vidrado (alta temperatura).

A cozedura do vidrado coloca os mesmos problemas relativos aos momentos de transformação do quartzo e da cristalização da massa de argila (Figura 52).

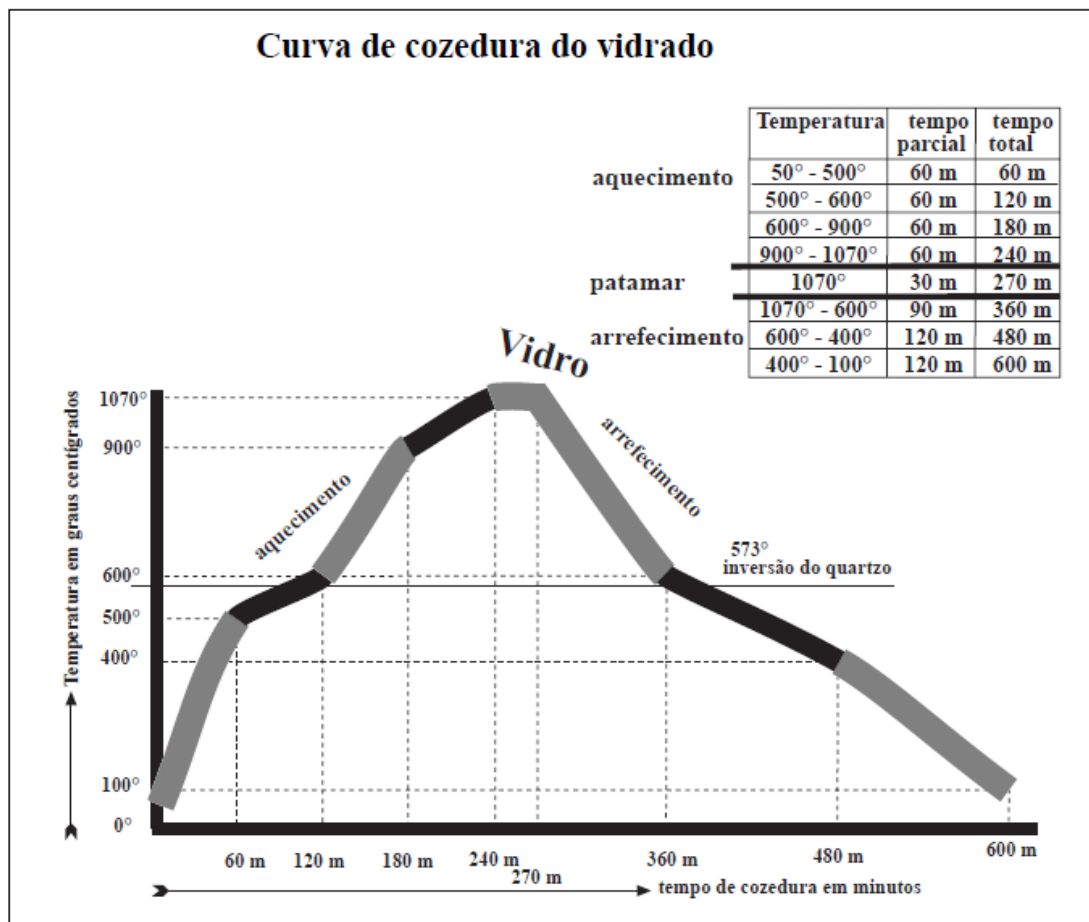


Figura 52 - Na curva de cozedura são identificados a traço grosso os três momentos críticos: entre os 500°C e 600°C, 900°C e 1070°C e os 600°C e 400°C. Observa-se também a identificação do período de “patamar”, compreendido entre 20 e 30 minutos quando se atinge a temperatura de fusão do vidrado, que no presente caso é de 1070°C [22].

Nota-se que o período de tempo compreendido até aos 500°C pode e deve diminuir em relação à chacota, por que as peças já tinham sido cozidas, não havendo agora os problemas relativos à expulsão da água [22].

A grande diferença entre a cozedura do vidrado e a chacota reside no período assinalado no gráfico (patamar). Este período em que o forno está ligado em temperatura constante vai de 20 a 30 minutos. É o período de maturação do vidrado, no qual todas as reacções químicas devem ser completas, como a expulsão dos gases de fusão [22]. Na Spiana, a duração do ciclo de cozedura do vidrado é de, aproximadamente, 11 horas.

O tipo de forno usado na cozedura da porcelana depende da dimensão da unidade produtora, podendo ser intermitente ou contínuo (Figura 53).



Figura 53 - Fornos de alta temperatura, a) exemplo de forno intermitente, b) exemplo de um forno contínuo e c) exemplo de um forno muflado [9].

Em qualquer um dos casos, o ciclo de cozedura está dividido em etapas, Figura 54.



Figura 54 - Etapas do ciclo de cozedura em grande fogo.

Devido à atmosfera redutora, poderá ocorrer a deposição de carbono sobre os produtos. Assim, é necessário assegurar a combustão do carbono, antes do início da vitrificação da pasta cerâmica. Para tal acontecer, a atmosfera do forno deverá ser fortemente oxidante, quando a temperatura está entre 900 e 1000°C, antes da porosidade ser eliminada, devido à formação da fase líquida. Depois da eliminação do carbono, o período de cozedura a alta temperatura decorre em atmosfera redutora (ou ligeiramente oxidante), dependendo da cor desejada para o vidrado [16].

A atmosfera redutora promove a brancura da peça. Se a cozedura for em atmosfera oxidante, o ferro ( $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{3+}$ ) presente nas matérias-primas é oxidado para ferro trivalente ( $\text{Fe}^{3+}$ ), as peças cerâmicas adquirem uma coloração rosada. Para garantir que todo o ferro é convertido para  $\text{Fe}^{2+}$ , é necessário uma concentração de substâncias redutoras na atmosfera (2-3% em volume de  $\text{CO} + \text{H}_2$ ). Uma atmosfera demasiado redutora também provoca alteração da cor da pasta, tornando-se acinzentada, devido à formação de ferro metálico. O feldspato potássico reage, primeiro, com a sílica, resultante da decomposição da caulinite, e, depois, com o quartzo, a temperaturas mais elevadas. Tal como a Figura 55 indica, a fase líquida inicia-se aos 985°C e dá-se por completa a fusão do feldspato potássico, aos 1150°C [16].



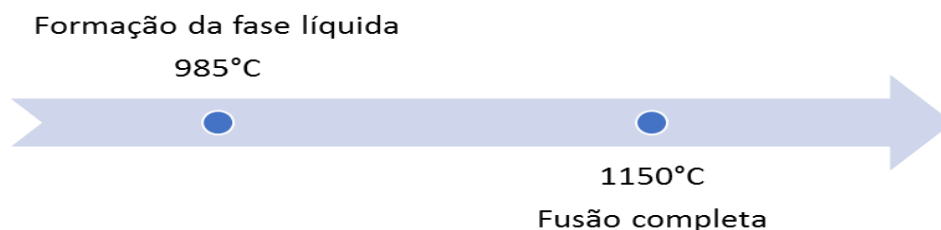


Figura 55 - Representação da fusão do feldspato potássico.

Estas reações originam as seguintes fases primárias: uma fase líquida (fusão do feldspato - mulinite primária) e quartzo (não reagido). As reações entre estas fases ocorrem à medida que prossegue a cozedura. A fase líquida inicial, com a composição eutética, vai dissolvendo cada vez mais sílica e alumina, à medida que a temperatura de cozedura aumenta. A primeira sílica a ser dissolvida é a que resulta dos minerais argilosos e prossegue, depois, com a dissolução do quartzo. A dissolução do quartzo é muito importante na cozedura da porcelana. O aumento da temperatura provoca uma diminuição da viscosidade da fase líquida, esta diminuição é contrariada pela incorporação da sílica, que resulta da dissolução do quartzo, que por sua vez, provoca o aumento da viscosidade do líquido e contraria a tendência à deformação plástica. Os iões alcalinos da fase líquida penetram nos agregados de mulite primária, alterando a composição do líquido. Este, ao precipitar, cristaliza na forma de agulhas - mulite secundária. O aumento da temperatura provoca nova dissolução da mulite secundária, em consequência do enriquecimento do líquido em sílica, devido à dissolução do quartzo. Para reequilibrar, a composição do líquido (perturbada pela dissolução da mulite secundária), é necessário adicionar alumina [9].

Nos fornos túnel, a mobília de enforna – placas (Figura 56 a) e prumos (Figura 56 b), são de carboneto de silício ou carboneto de silício recristalizado.

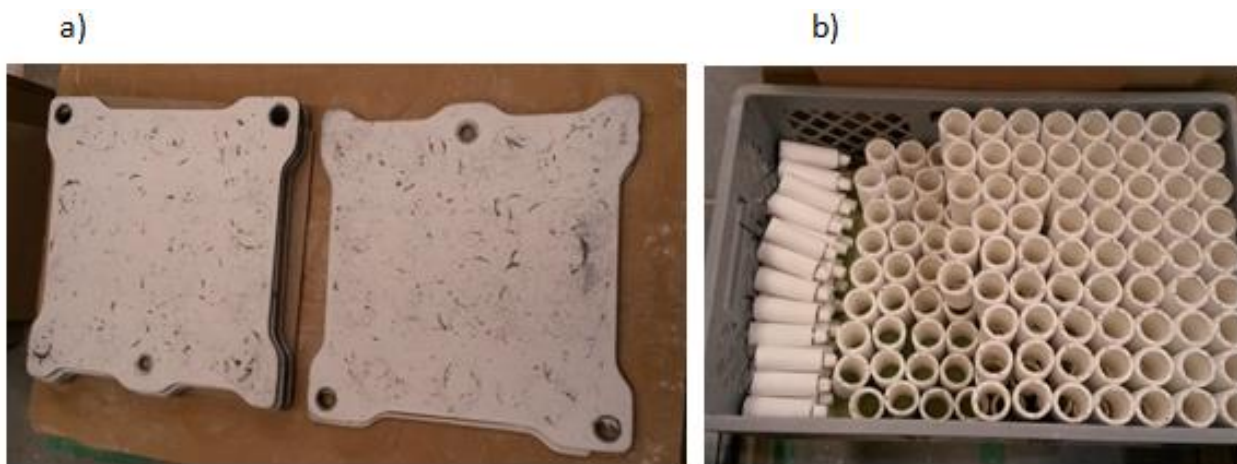


Figura 56 – a) Placas de carboneto de silício que compõem a mobília; b) Prumos que sustentam as placas na mobília.

A carga do produto vidrado por unidade de volume útil é inferior à usada na chacotagem, pois as peças vidradas não podem ser empilhadas umas nas outras, ao contrário do que se faz com as peças chacotadas (Figura 57) [9].

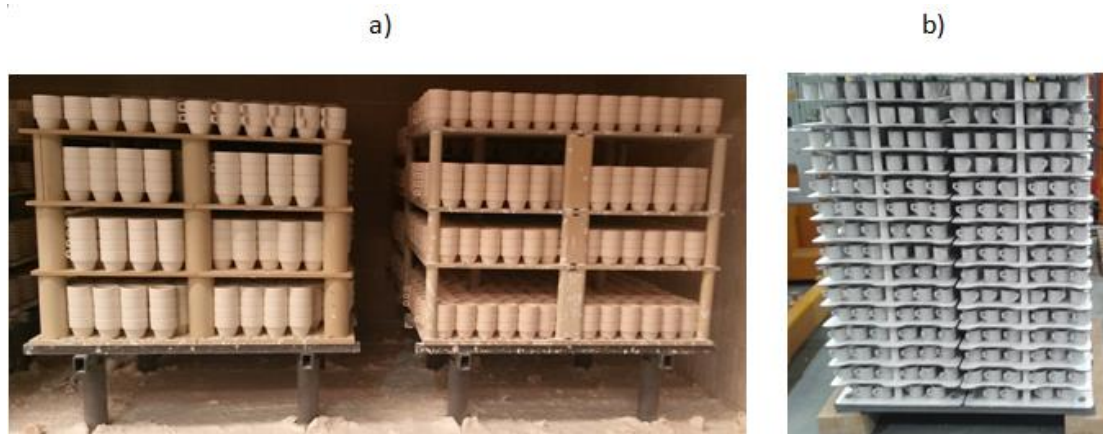


Figura 57 – Móveis carregadas: a) peças chacoalhadas; b) peças vidradas.

Após a cozedura, as placas refratárias usadas como base para as peças serem cozidas em alto fogo, são limpas de resíduos de engobe (roçagem), por meio de abrasivos e, são depois armazenadas, até utilização posterior (Figura 58).



Figura 58 - Placas refratárias lixadas com recurso a abrasivos e com aplicação de engobe.

Só após passagem pelos fornos de "grande fogo" (Figura 59), se obtém a porcelana com as características que a definem, translucidez, brancura, vitrificação total e porosidade zero.



Figura 59 - Cozedura a alta temperatura no interior de um forno.

É de extrema importância o controlo da curva de cozedura, nomeadamente da temperatura e atmosfera. A curva de cozedura apresenta quatro fases bem definidas (Figura 60 e Tabela 5) [15]:

(i) Fase de aquecimento até aos 900°C, durante a qual não é influente o tipo de atmosfera;

(ii) Período de oxidação, entre 900°C e 1000°C, durante o qual o carbono é queimado por combinação com o oxigénio, antes do início da vitrificação, isto é, antes

de os poros serem preenchidos pela fase líquida que vai sendo gerada no processo de sinterização;

(iii) Período de redução, entre 1000°C e a temperatura máxima de queima, durante o qual os poros são fechados gradualmente pela fase líquida. A atmosfera redutora é importante para realçar a brancura das peças. Uma outra razão para a necessidade de uma atmosfera redutora é a de prevenir a formação de porosidade secundária, a qual poderá ser originada pela decomposição térmica dos iões de ferro trivalentes;

(iv) Período de arrefecimento em que a atmosfera pode ser neutra ou oxidante.

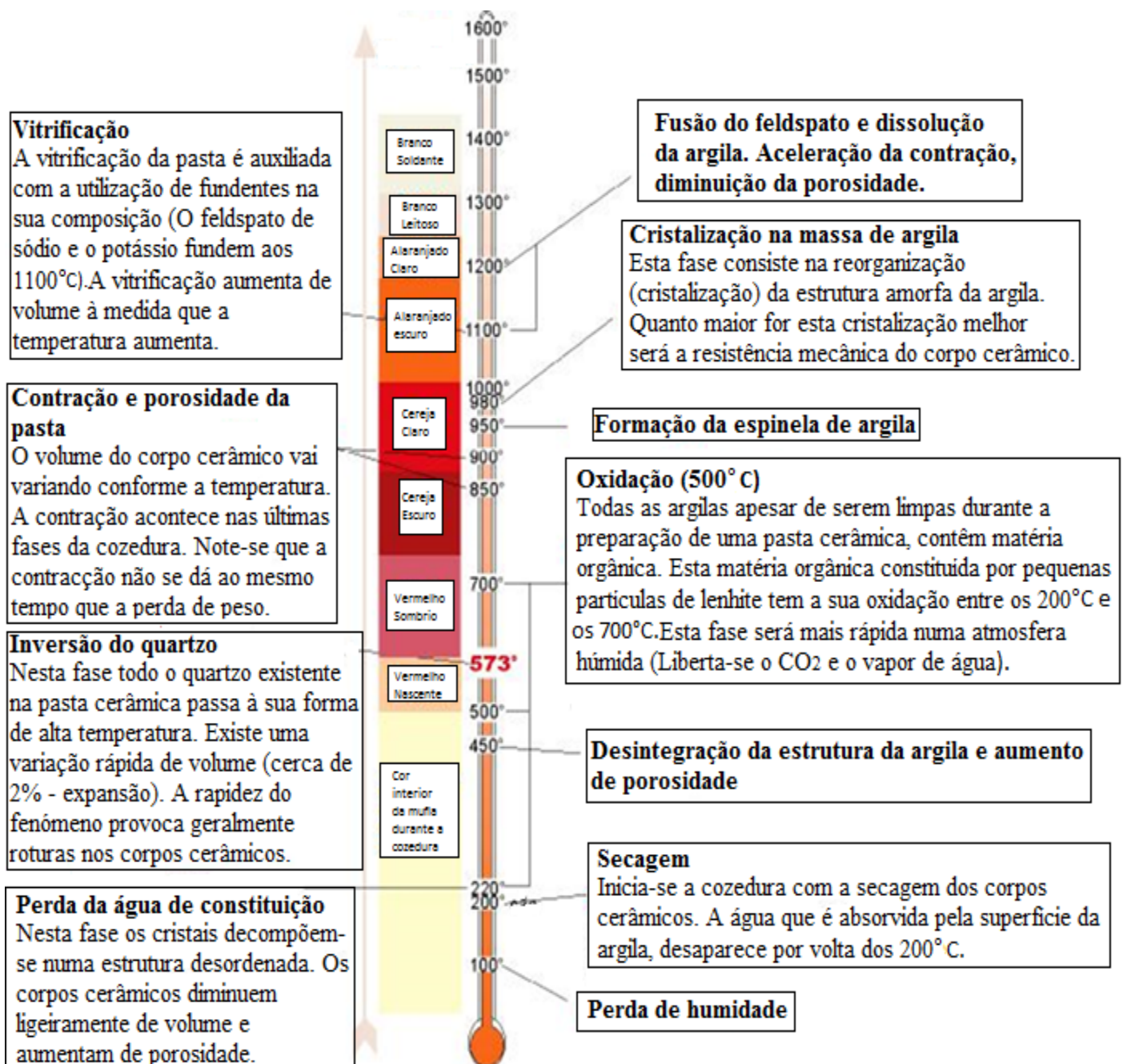


Figura 60 - Principais fases da ação do calor sobre um corpo cerâmico (adaptado de [26, 27, 28, 29, 30]).

Tabela 5 - Reações físicas e químicas estabelecidas durante o aquecimento de um corpo cerâmico [31].

Temperatura	Reações
<b>Até 150°C</b>	Perda de água livre (água excedente e móvel não fixada à superfície das partículas, sendo a primeira a sofrer evolução gasosa) e de água higroscópica (fixada à superfície das partículas por ação de tensão superficial, sendo a segunda a sofrer evolução gasosa). A perda de um e de outro tipo de água provoca forte retração do corpo cerâmico, que se não for bem controlada pode causar fissuração irremediável no corpo cerâmico.
<b>250-350°C</b>	Perda de água zeolítica quando nas matérias-primas argilosas estão presentes minerais argilosos expansivos (caso de esmectites) que possuem água deste tipo; perda de água de constituição de hidróxidos de ferro (caso de goethite) quando estão presentes; perda por combustão de matéria orgânica (húmus) quando ela existir. As perdas referidas implicam retrações do corpo cerâmico.
<b>450-700°C</b>	Perda de água de constituição ou estrutural dos minerais argilosos (de minerais do grupo da caulinite e da esmectite a temperaturas mais baixas e de minerais do grupo da ilite/mica a temperaturas mais altas). Desta perda de água resulta o colapso e a amorfização da estrutura cristalina dos minerais argilosos referidos e a consequente retração do corpo cerâmico. Por exemplo, a caulinite possui cerca de 14% em massa de água estrutural.
<b>573°C</b>	Inversão do quartzo $\alpha$ em quartzo $\beta$ . O quartzo é um mineral ubíquo nas matérias-primas cerâmicas argilosas. Da inversão referida resulta uma pequena dilatação (cerca de 2%) do corpo cerâmico.
<b>700 - 900°C</b>	Evolução gasosa de $\text{CO}_2$ por decomposição de carbonatos, a temperatura mais baixa quando se trate de dolomite (carbonato duplo de cálcio e magnésio) e a temperatura mais alta quando se trate de calcite (carbonato de cálcio). Tal implica a criação de porosidade adicional no corpo cerâmico.
<b>Acima de 800°C</b>	Começa a ter lugar a sinterização do corpo cerâmico e da reação entre si da sílica, da alumina e dos outros óxidos (de ferro, de potássio, de cálcio, de sódio) resulta a formação de novas fases cristalinas (as chamadas fases cristalinas de alta temperatura). Do facto, resulta também a diminuição da porosidade do corpo cerâmico, a diminuição da absorção de água e o aumento da resistência mecânica à flexão.

A sinterização consiste na transformação de um sistema constituído por um aglomerado de partículas sólidas num material policristalino compacto, com um mínimo de porosidade [15].

Este processo é realizado a altas temperaturas que provocam alterações nas dimensões dos constituintes internos, na distribuição das fases e dos grãos do corpo sinterizado. É condicionado por diferentes variáveis como a composição química dos constituintes, que determina as fases que irão transformar-se durante o ciclo térmico, o tamanho inicial das partículas, que vai influenciar diretamente a velocidade de sinterização e das reações simultâneas a esta, o estado de aglomeração, visto que é muitas vezes responsável pelas perturbações no desenvolvimento da densificação, e ainda a homogeneidade e isotropia [15].

De acordo com a quantidade de fase líquida presente pode-se distinguir sinterização no estado sólido, sinterização em presença de fase líquida e vitrificação



[32]. Na porcelana, ocorre sinterização em presença de fase líquida. Este processo envolve dois estágios: rearranjo e reação. O estágio de rearranjo é caracterizado por uma elevada velocidade de densificação, devido ao escoamento viscoso do líquido, que formará um filme lubrificante. As forças capilares e de tensão superficial do líquido forçam as partículas umas contra as outras, de forma a haver redução do volume total do corpo [15].

Este rearranjo é responsável pela redução de porosidade e, consequentemente, pela redução de volume. Se a quantidade de líquido presente for muito elevada, poder-se-á observar unicamente este estágio [15].

O estágio de reação vai ocorrer no fim do estágio de rearranjo. Se ainda persistir porosidade, esta só poderá ser eliminada por solução/precipitação das partículas sólidas e alteração das suas formas [32].

O produto cozido, dito em “branco”, é escolhido a 100% de acordo com critérios de qualidade definidos na empresa Spiana (Figura 61).



Figura 61 – Mobília com peças cozidas a alta temperatura, prontas a serem escolhidas.

### 3.10 Escolha do “Branco”

Após a cozedura, as peças brancas vidradas, são separadas por categorias - escolha do branco - de acordo com os defeitos que apresentam e segundo a decoração prevista.

Nesta secção, também designada por Escolha Industrial, as peças sofrem um controlo a 100%. É um processo manual em que as peças são escolhidas e classificadas de acordo com os defeitos existentes (Figura 62 a). De facto, a escolha não se limita a encontrar defeitos, mas também na adequação/encaminhamento das peças aos diferentes processos decorativos (Figura 62 b), uma vez que existem peças cujo defeito pode ser mascarado utilizando determinada decoração.



Figura 62 – a) Caixas que contêm peças defeituosas; b) Caixas que contêm peças conformes, prontas para decoração.

Assim, as peças que podem ser aproveitadas são classificadas por classes:

- (i) Escolha de 1ª;
- (ii) Escolha de 2ª;
- (iii) Segundo fogo;
- (iv) Lapidário;
- (v) Refugo (Figura 63).



Figura 63 – Refugo constituído por peças com defeitos resultantes da escolha a 100%.

A enumeração, caracterização e ilustração dos vários defeitos existentes (refugo) serão apresentadas mais detalhadamente no capítulo 4.

As peças são também sujeitas à operação de polimento que, como o nome indica, tem o objetivo de polir eventuais superfícies que depois de cozidas se tornarão irregulares. Este trabalho é feito com o auxílio de pequenas máquinas polidoras, manobradas manualmente. O polimento é praticado a 100% nas peças de porcelana não vidradas, *biscuit*, que depois de cozidas se apresentam bastante ásperas.

Uma outra operação realizada nesta secção é a roçagem (Figura 64), que tem por objetivo polir o frete e outras superfícies não vidradas que poderão ter ficado contaminadas durante a cozedura (Figura 65).



Figura 64 - Equipamento utilizado no polimento (limpeza) do frete dos pires assinalados a vermelho.

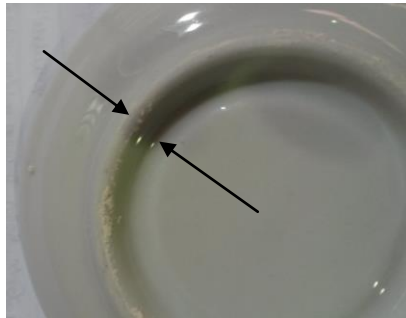


Figura 65 - Frete de um pires não polido.

Nas peças que são registadas como de 2º fogo, é colocada uma pasta misturada com vidro, própria para cobrir eventuais defeitos. As peças são levadas novamente ao forno de alto fogo.

### 3.11 Armazém do “Branco”

Uma vez escolhidas, as peças são transportadas para os armazéns de branco, onde aguardam o acabamento (Figura 66).



Figura 66 – Peças em branco armazenadas.

### 3.12 Decoração

No período de tempo que medeia o processo de escolha e decoração, há sempre deposição de poeiras, por isso, antes da aplicação das decorações é necessário limpar ou lavar as peças, de modo a garantir total aderência das decorações e evitar o surgimento de defeitos superficiais, durante a cozedura final (Figura 67).



Figura 67 - Mobília com peças decoradas, prontas para a cozedura de decoração.

A decoração dos objetos em porcelana, por bicozedura, pode ser de um dos seguintes tipos: *under glaze*; *in glaze*; *on glaze* [9].

A decoração *under glaze* consiste na decoração que é aplicada diretamente sobre a peça chacoalhada, que depois é vidrada e o conjunto é sujeito à cozedura de alto fogo - 1420 °C [9].

A decoração *in glaze* consiste na aplicação de decoração sobre as peças vidradas, que já sofreram a cozedura de alto fogo. A temperatura de cozedura para *in glaze* é de 1240 °C. Neste tipo de decoração, as cores da decoração penetram na espessura do vidro, até alguns *microns* de profundidade, contribuindo para a estabilidade química das decorações, quando as mesmas são sujeitas à ação dos detergentes das máquinas de lavar [9].

A decoração *on glaze* é semelhante à *in glaze* no modo de proceder, varia a temperatura de cozedura, não existindo qualquer reação profunda, entre a decoração e o vidro de recobrimento. Devido à baixa temperatura usada - 800 °C - este tipo de decoração é menos resistente [9].

Apresentam-se na Tabela 6 exemplos de parâmetros de funcionamento de diferentes fornos utilizados na cozedura de decoração: temperatura e tempo de cozedura.

Tabela 6 - Parâmetros de funcionamento da decoração de grande fogo e sob vidro [33,34]

Tipo de Forno	Processo	Temperatura de Cozedura (°C)	Tempo de Cozedura
Forno eléctrico de fusão com cesto para transporte	Decoração por fusão	760 - 840	2 - 4 h
Forno túnel de cozedura rápida (mesa de cozedura)	Decoração sobre vidro (on-glaze)	850 - 950	40 - 70 min
Forno de rolos com auxiliares de cozedura	Decoração sobre vidro (on-glaze)	850 - 950	40 - 70 min
Forno de rolos com elementos de quartzo	Decoração sobre vidro (on-glaze)	1080	40 - 70 min
Forno com transportador de correia dupla	Decoração sobre vidro (on-glaze)	850 - 950	40 - 70 min
Forno com transportador de correia dupla (correia especial)	Decoração sobre vidro (on-glaze)	1050	40 - 70 min
Forno de túnel com transportador de placa	Decoração de alto fogo	1300 - 1400	7 - 16 h
Forno intermitente	Decoração sobre vidro (on-glaze)	850 - 950	8 - 10 h
Forno intermitente	Decoração de alto fogo	1300 - 1400	14 - 24 h
Forno túnel de cozedura rápida (mesa de cozedura)	Decoração de alto fogo	1350 - 1420	2 - 4 h
Forno túnel de cozedura rápida (mesa de cozedura)	Decoração dentro do vidro (in-glaze)	1200 - 1280	60 - 90 min
Forno de rolos com rolos especiais	Decoração dentro do vidro (in-glaze)	1200	60 - 90 min
Forno intermitente	Decoração sob vidro (under-glaze)	1370 - 1420	18 - 30 h
Forno de túnel com vagão	Decoração sob vidro (under-glaze)	1370 - 1420	18 - 30 h
Forno de túnel com mesa de cozedura	Decoração sob vidro (under-glaze)	1370 - 1420	12 - 16 h
Forno túnel de cozedura rápida (mesa de cozedura)	Decoração sob vidro (under-glaze)	1370 - 1420	3 - 4 h
Forno de rolos com rolos especiais	Decoração sob vidro (under-glaze)	1350	2 - 4 h



A aplicação da decoração pode ser de vários modos: a pincel; por carimbo; por pistolagem; por serigrafia direta; por serigrafia indireta e por decalque [9].

No fabrico do decalque, a decoração é aplicada serigraficamente sobre um papel especial, recoberto com um filme de cola (Figura 68). A decoração por decalque (Figura 69) é o processo de decoração mais usado na porcelana.



Figura 68 - Decalques que serão colocados nos pires.



Figura 69 - Pires decorado com decalque.

A cada cor da decoração corresponde uma serigrafia e, depois de serigrafadas as cores, o motivo decorativo é recoberto com uma gelatina. O conjunto papel, motivo e laca, é recoberto com papel "seda", para evitar que as várias folhas de decalques quando empilhadas colem entre si [9].

Para aplicar o decalque, inicia-se a remoção do papel "seda" e individualizam-se os motivos (a mesma folha de decalque pode conter motivos usados em diferentes peças), posteriormente os decoradores, humedecem o conjunto - papel, motivo e respetiva laca em água morna, facilitando a remoção do motivo, do papel (a laca serve de suporte ao motivo (Figura 70). Este é aplicado na peça, tendo o cuidado de ficar bem posicionado e sem bolhas, usando uma borracha. Esta operação é bastante delicada e morosa [9].

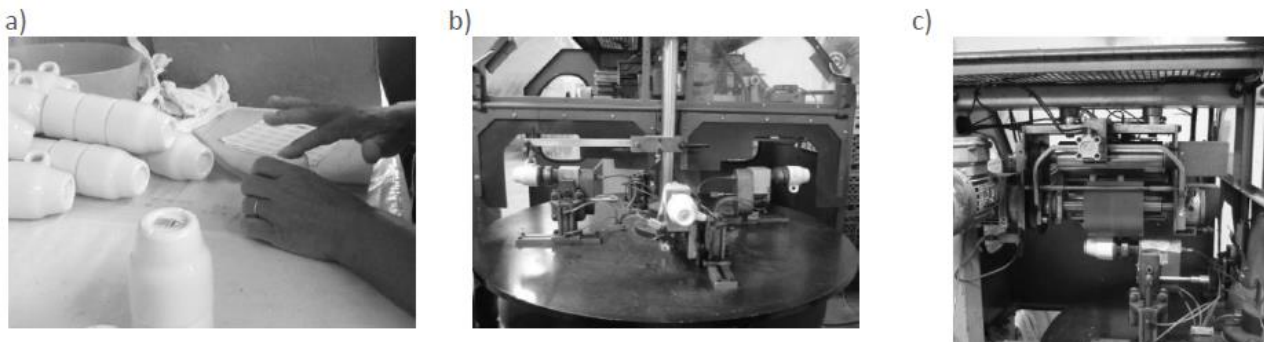


Figura 70 - a) Aplicação de "backstamp", pela técnica de decalque aplicado manualmente; b) Introdução das chávenas para colocar a impressão automática; c) Impressão do decalque na chávena através de rolo [9].

As técnicas de decoração vulgarmente utilizadas são a impressão e a pintura à mão. É frequente a combinação das duas técnicas na execução de decorações. Para além destas, também existe a decoração com relevo, exemplificada na Figura 71 a). A impressão traduz-se na aplicação de decalcomanias nas superfícies a decorar. Estas transportam os desenhos impressos com as tintas cerâmicas para as peças, que após cozedura (Figura 71 b), dão origem às múltiplas decorações [9].

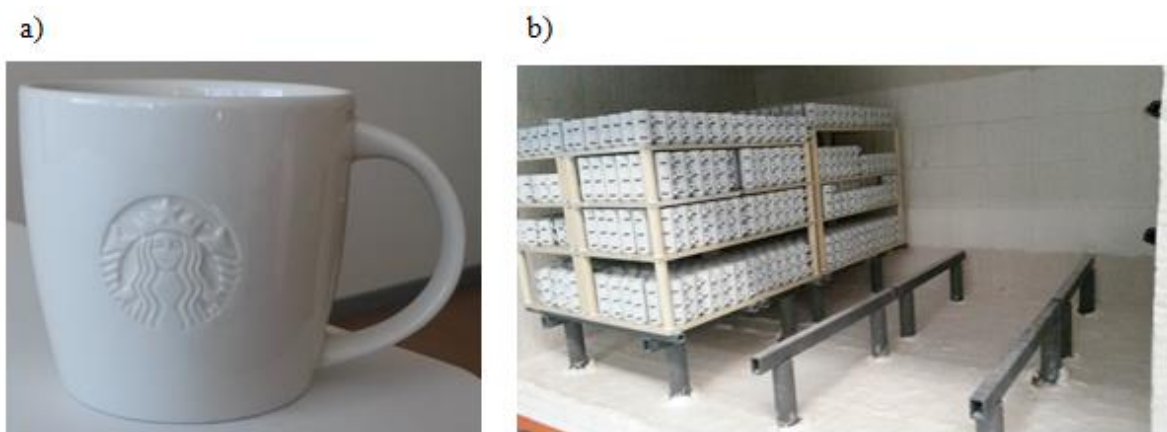


Figura 71 – a) Decoração por impressão; b) Mufla usada na cozedura de peças decoradas.

### 3.13 Escolha

Todas as peças decoradas são sujeitas a nova cozedura e como já foi referido, as operações em forno são responsáveis por vários defeitos. Assim, estas são sujeitas a nova fase de inspeção (Figura 72), sendo selecionadas as que detêm características que cumpram os padrões definidos internamente e asseguram a satisfação e expectativas dos clientes.



Figura 72 - Peças partidas e com outros defeitos acumulados durante a cozedura da decoração.

### 3.14 Embalagem

A embalagem é a última fase do processo produtivo. Existem vários tipos de embalagem consoante as decorações, as composições, ou as exigências dos diferentes mercados (Figura 73).



Figura 73 – Embalagens prontas a receber chávenas.

Esta fase do processo tem sido alvo de algumas reclamações por parte dos clientes, sobretudo do mercado externo. As peças em louça têm uma resistência limitada, devem ser bem acondicionadas, usando-se plástico bolha, diversos tipos de papel e caixas reforçadas. No entanto, devido às longas viagens e diversos processos de transferência de carga, a louça chega ao cliente em mau estado. Atualmente, sempre que se avança com desenvolvimento de novos produtos, as embalagens são alvo de vários testes de resistência à queda. Estes testes consistem em deixar cair as caixas com a louça acondicionada tal como segue para o cliente, de diversas alturas e nas diversas faces ou vértices. As embalagens ou modo de acondicionamento (Figura 74) são melhorados, se alguma peça quebrar durante os testes [9].



Figura 74 – Palete que contém diversas caixas prontas.



## **4 Possíveis fontes de desperdício encontradas na Spiana**

Com a passagem de departamento em departamento fabril, foi possível ter uma perspetiva geral sobre como cada área funciona, tais como os processos envolvidos na produção de louça de hotelaria, mais especificamente, pires e chávenas de café.



Assim, assimilados os conhecimentos quanto ao processo de fabrico de tais peças, procurou-se identificar, na Spiana, possíveis fontes de desperdício e respetiva proposta de solução.

## 4.1 Matéria-prima: Pasta Cerâmica

<b>Desperdício/ Problema</b>	Própria pasta e peças fabricadas posteriormente.
<b>Comentário:</b>	<p>Alguns tarugos já vêm deformados. Na matéria-prima (pastas) verifica-se que algumas já vêm defeituosas, o que provavelmente conduzirá a problemas no funcionamento da extrusão, e que por sua vez, terá fortes probabilidades de conduzir a desperdício.</p> <div data-bbox="432 589 1329 891">  </div>
	<p>Irregularidade da dureza dos tarugos da mesma paleta; Impurezas contidas na pasta; Irregularidade da massa dos tarugos da mesma paleta; Falta de proteção nas paletes que contêm os tarugos/pastas.</p> <div data-bbox="432 1126 1351 1451">  </div>
	<p>Pasta com excesso de humidade aquando da sua utilização, o que conduz à acumulação de material nas ferramentas e posterior incorporação de partículas de pasta seca nas peças.</p> <div data-bbox="1061 1469 1249 1697">  </div>
<b>Possível Solução:</b>	<p>Dialogar com fornecedor. Realização, com regularidade, de controlo à matéria-prima na empresa. Proteção dos tarugos que aguardam utilização. É necessário secar os moldes (formas), com mais regularidade, para as peças desmoldarem corretamente.</p>






## 4.2 Estação de trabalho: Fabrico de moldes (formas) em gesso

<b>Desperdício/ Problema</b>	Restos/Sobras de Gesso em pó que ficam no tabuleiro e máquina, que com a sua exposição ao ambiente, fica inadequado para a sua utilização.
<b>Comentário:</b>	<p>O desperdício, por vezes, é residual. O gesso é relativamente barato.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
<b>Possível Solução:</b>	Gerir melhor a quantidade a colocar consoante produção.


## 4.3 Estação de trabalho: *Roller Pires*



<b>Desperdício/ Problema</b>	Oxidação das cabeças metálicas (aço); rejeição de peças durante o processo produtivo por incorporação de óxidos.
<b>Comentário:</b>	<p>As cabeças metálicas oxidam mais facilmente.</p> 
<b>Possível Solução:</b>	<p>Optar por cabeças de nylon na <i>roller</i> dos pires, tal como na <i>roller</i> das chávenas.</p> <p>Optar por cabeças de alumínio (excelente resistência à corrosão/oxidação).</p> 

<b>Desperdício/ Problema</b>	Exposição das formas /moldes a serem utilizados na <i>roller</i> pires, ao nível do chão, com a abertura voltada para cima e sem uma proteção.
<b>Comentário:</b>	<p>Devido às partículas de material que se encontram no chão da fábrica é maior a probabilidade de estas entrarem para a forma (zona que vai ser utilizada na moldação) e se incorporarem em futuras peças.</p> 
<b>Possível Solução:</b>	<p>Proteger, com recurso a um plástico, cartão ou outro, as formas.</p> 



<b>Desperdício/ Problema</b>	Falta de organização; Acidentes nos transportes de peças. Acontece, por indisponibilidade imediata de carrinhos na <i>roller</i> pires, algumas peças serem alocadas na secretária de trabalho.
<b>Comentário:</b>	<p>Depois da operação de <i>set-up</i> não existia carrinho disponível para colocar os pires prontos da <i>roller</i> pires, pelo que os funcionários tiveram que colocá-los na respetiva secretária (desarrumada) para os pires prontos não chegarem à extremidade do tapete rolante e acabarem no chão. Posteriormente, estes pires voltaram a ser transportados da secretária para o carrinho, operação esta que podia ser evitada, pois a probabilidade de acidentes/ impactos entre peças é maior. Para além disso, o manuseamento excessivo e a perda de tempo desnecessários, por si só, já são desperdício.</p> 
<b>Possível Solução:</b>	Maior organização e gestão dos carrinhos.







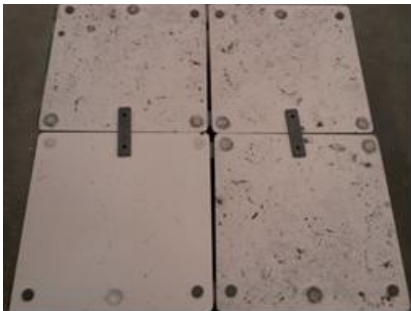

<b>Desperdício/ Problema</b>	Em certas ocasiões, falta de manutenção dos equipamentos.
<b>Comentário:</b>	<p>Às vezes acontecem alguns problemas com pequenas peças (ou que partem ou que saem do sítio), exemplo: peças rotativas na fase de acabamento, o que leva a que se partam alguns pires. Por exemplo, depois ou ao fazer o <i>set-up</i> da máquina, seria necessário “centrar” a máquina pelo responsável da manutenção, o que por indisponibilidade, não se verificou no momento necessário. Assim nesta circunstância, alguns moldes encontravam-se num plano inferior aos restantes, o que faz gastar mais pasta e consequentemente mais desperdício. A certa altura também caíam pingas de óleo do sistema de ventosas para os pires que estavam a ser produzidos, manchas essas que tiveram de ser limpas pelos funcionários.</p> 
<b>Possível Solução:</b>	Manutenção regular, preventiva quando possível.


<b>Desperdício/ Problema</b>	Na <i>roller</i> pires, verifica-se alguma falta limpeza da respetiva máquina (exemplo: secador).
<b>Comentário:</b>	<p>Pasta e pó que se vai acumulando por todo o lado. Maior probabilidade de incorporação de partículas nesta fase.</p>  
<b>Possível Solução:</b>	Melhorar limpeza.

#### 4.4 Estação de trabalho: *Roller Pires/Chávenas*

<b>Desperdício/ Problema</b>	Em determinadas alturas, nomeadamente na fase de arranque, as peças saem com mais humidade do que é suposto.
<b>Comentário:</b>	<p>Normalmente, depois de uma operação de <i>set-up</i>, ou no início da manhã, as primeiras peças acabam por ficar inválidas/deformadas por apresentarem, ainda, excesso de humidade. O principal defeito consiste no esmagamento das peças, por não terem a consistência suficiente (excesso de humidade), e por isso, algumas terminam o processo esmagadas. Durante o manuseamento das chávenas para colar as asas, algumas por terem humidade a mais, deformam-se, ficando logo em desperdício a chávena e a asa.</p> <div data-bbox="529 734 796 987" data-kind="parent" data-rs="2"></div> <div data-bbox="1015 734 1265 987" data-kind="parent" data-rs="2"></div>
<b>Possível Solução:</b>	<p>No início do processo, talvez, aumentar a intensidade de secagem efetuada na <i>roller pires</i> e chávenas. Colocar mais alimentadores de calor no secador do <i>roller</i>, de modo a direcionar mais o calor para a peça e assim aumentar/intensificar a secagem.</p> <div data-bbox="443 1173 885 1449" data-kind="parent" data-rs="2"></div> <div data-bbox="1038 1173 1241 1449" data-kind="parent" data-rs="2"></div>



## 4.5 Estação de trabalho: Pós-Vidragem

<b>Desperdício/ Problema</b>	Peças com partículas escuras (com relevo) incorporadas.
<b>Comentário:</b>	<p>Depois da vidragem, é bastante comum encontrar, maioritariamente pires e também chávenas, com partículas incorporadas das placas que compõem a mobília (carboneto de silício), onde as peças são colocadas para irem ao forno.</p> <div data-bbox="528 584 922 831" data-kind="parent" data-rs="2">  </div> <div data-bbox="1102 584 1342 819" data-kind="parent" data-rs="2">  </div> <div data-bbox="603 853 1190 1249">  </div>
	<p>As peças são colocadas em mobília composta por placas <i>saint gobain</i>, muitas vezes apresentando um desgaste significativo.</p> <div data-bbox="413 1357 911 1644" data-kind="parent" data-rs="2">  </div> <div data-bbox="954 1357 1366 1666" data-kind="parent" data-rs="2">  </div>
	<p>Às vezes, não se revestem as placas, só se decapam (lixam).</p> <div data-bbox="1062 1688 1382 1944">  </div>
<b>Possível Solução:</b>	As placas têm de ser decapadas (lixadas) e novamente pintadas com o produto Engobe com maior regularidade. Substituir material.

<p><b>Desperdício/ Problema</b></p>	<p>Incorporação de partículas brancas com relevo.</p>  
<p><b>Comentário:</b></p>	<p>Origem em partículas sólidas contidas no vidro líquido, partículas acumuladas durante a espera para os respetivos fornos, pasta cerâmica ou pinos cerâmicos. Por vezes, falta de limpeza antes de vidrar.</p>  
<p><b>Possível Solução:</b></p>	<p>Melhorar a limpeza antes de vidrar (se necessário com recurso a outras ferramentas). Proteger melhor a área onde é efetuada a vidragem manualmente, colocando uma placa de acrílico ou semelhante na retaguarda do funcionário, de modo a evitar a grande exposição do banho de vidro ao ambiente.</p>  


<p><b>Desperdício/ Problema</b></p>	<p>Excesso de vidro na base das peças ou défice de material na base, resultante da tentativa da remoção do excesso.</p> <p>Insuficiente tempo de secagem, que por vezes, quando as peças são manuseadas, por não estarem ainda bem secas, ficam marcas dos dedos dos funcionários impressas nas peças.</p> 
<p><b>Comentário:</b></p>	<p>Também existem alguns pires que na sua base inferior ficam com zonas sem parte do material, material esse que ficou colado na prateleira das mobílias. Erro da secagem após vidrar as peças. Vai vidro líquido a mais. Falta de tempo necessário para as peças secarem corretamente. Incorreta limpeza da base das peças, a fim de remover todo o vidro líquido acumulado na base das peças.</p>   
<p><b>Possível Solução:</b></p>	<p>Correta limpeza da base das peças. Aumentar o tempo de secagem das peças após vidragem.</p> 



<b>Desperdício/ Problema</b>	Aparecimento de pintas escuras pós-vidragem.
<b>Comentário:</b>	<p>Pintas que, provavelmente têm origem em impurezas da pasta. Às vezes nalgumas chávenas e pires vêem-se pintas sem relevo, que poderão ser impurezas contidas na pasta cerâmica e que ficam com a tonalidade escura depois da chacotagem e a qual o vidro líquido já não consegue revestir.</p> <div>   </div>
<b>Possível Solução:</b>	<p>Contactar fornecedor das pastas. Analisar a qualidade das mesmas.</p>

<b>Desperdício/ Problema</b>	Aparecimento de fissuras nas peças.
<b>Comentário:</b>	<p>Devido, provavelmente, ao excesso de humidade que a peça ainda tem neste estágio.</p> <div>    </div>
<b>Possível Solução:</b>	Melhorar secagem inicial.

#### 4.6 Estação de trabalho: Fabrico de asas

<b>Desperdício/ Problema</b>	Desperdício que cai ao chão.
<b>Comentário:</b>	<p>O desperdício que cai ao chão, devido à capacidade lotada das caixas, não é reaproveitado.</p> 
<b>Possível Solução:</b>	Evitar exceder a lotação da caixa.

#### 4.7 Equipamentos

<b>Desperdício/ Problema</b>	Prateleira encurvada.
<b>Comentário:</b>	<p>Maior probabilidade de ocorrência de acidentes. Algumas chávenas e pires, devido à inclinação da mobília durante o seu transporte caem.</p> 
<b>Possível Solução:</b>	Substituição de mobília que não se encontre em bom estado.

## 4.8 Organização Fabril

<b>Desperdício/ Problema</b>	<p>Sítio pouco adequado para colocação dos carrinhos dos pires à espera para irem ao secador e para chacoagem.</p>
<b>Comentário:</b>	<p>Obstrução do corredor principal para movimentação de máquinas. Maior probabilidade de as peças adquirirem poeiras/partículas/sujidade. Dificuldade nos acessos.</p>   
<b>Possível Solução:</b>	<p>Alteração de parte do <i>layout</i> da fábrica. Pelo menos o sítio de colocação de carrinhos.</p>



#### 4.9 Outros Problemas/Comentários:

- Constata-se falta de motivação por parte dos funcionários. Seria importante a existência de algo que motivasse os funcionários no sentido da otimização da redução do desperdício, por exemplo, um prémio/bónus.
- É necessário dar mais formação aos funcionários, no sentido de aumentar a sensibilidade para o defeito, pois falhas na inspeção visual, assim como noutras tarefas, podem ser melhoradas e evitadas. A inspeção visual também não é 100% eficaz. Algumas peças defeituosas ainda passam.
- Verifica-se que os mesmos operários do *roller* pires têm muitas funções em simultâneo: corrigir máquina; inspeção de pires; levar carrinho ao secador (têm de percorrer grande distância); levar desperdício de material para zonas de sacos onde é colocado todo o desperdício antes de chacotagem; fornecer matéria-prima à máquina. Tudo é feito ao mesmo tempo, com outras estações de trabalho a funcionar em simultâneo, o que se torna complicado.
- Às vezes, a pressa dos funcionários em transportarem várias peças, por exemplo 12, de uma vez só, propicia o acidente.
- Depois da secagem das chávenas, ainda há uma ou outra em que a asa descolou da chávena.
- Na parte da cabeça, para dar forma ao pires e chávena (moldação), ainda se verifica algum desperdício (Figura 75). **Solução:** Diminuir o tamanho do tarugo (Otimização) que a extrusora faz (Figura 76).

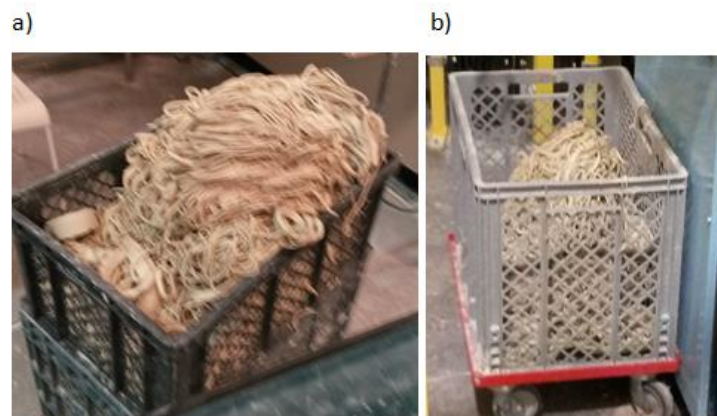


Figura 75 - Cestos com aparas resultantes do corte de excesso de pasta na etapa de conformação na *roller*.



Figura 76 – À esquerda uma chávena conformada; à direita o tarugo de pasta que lhe deu origem.

No sentido de averiguar qual a percentagem de desperdício na conformação de uma chávena, pesou-se o tarugo de pasta antes de conformar (Figura 77 a) e pesou-se a quantidade de aparas produzidas, após conformação (Figura 77 b).

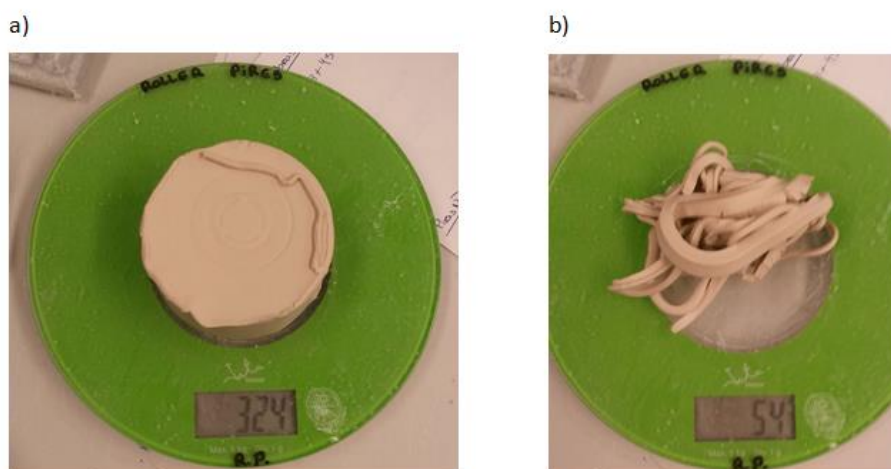


Figura 77 - a) Pesagem do tarugo em gramas; b) pesagem das aparas (desperdício) em gramas.

Concluiu-se que a percentagem de apara ronda os 17%, uma quantidade elevada.

- Quando se abre o secador para tirar um carrinho, às vezes, enquanto se leva o carrinho até determinado sítio, normalmente até ao corredor central, deixa-se a porta aberta durante minutos. Para levar os carrinhos dos pires até à parte de chacotagem, é necessário passar por alguns obstáculos e percorrer ainda uma distância considerável. Verifica-se, novamente desvantagem com o transporte: colocam-se os pires em carrinhos e depois voltam-se a colocar em mobílias para a chacotagem.
- Outro defeito encontrado é no rebordo exterior do pires, resultante de impactos sofridos na chacotagem ou no próprio *roller* dos pires.
- Alguns pires também são retidos por erros de vidragem.
- Absorção de vidro líquido em demasia nas peças. Depende da sua densidade, humidade, etc. Haverá alguma diferença na absorção do vidro líquido quando o meio ambiente se encontra a uma temperatura de verão ou inverno.
- Tipos de manutenção do forno de decoração:
  - limpeza dos filtros de ventilação quadro elétrico (1 vez por mês)
  - limpeza (aspirar) interior quadro elétrico (1 vez por mês)
  - limpeza do filtro do ventilador (1 vez por semana)
  - substituir filtro de ar do grupo hidráulico (1 vez por ano)
  - substituir filtro de óleo do grupo hidráulico (1 vez por ano)
  - lubrificar chumaceiras e rolamentos (1 vez por mês)
  - lubrificar guias da porta (1 vez por mês)

Todos estes parâmetros foram cumpridos pela última vez dia 12/06/17. Ou seja, alguns têm de ser cumpridos todos os meses e já lá vão 6 meses e sem nova manutenção. O mesmo sucede noutros equipamentos.

- Ao colocar o decalque, na fase de decoração, pode ir humidade a mais do que deveria, na zona do decalque e ao irem ao forno essas bolhas rebentam (Figura 78). Outra causa é a má distribuição do calor e gases no forno de decoração. As peças vão em mobília (os pires em cima das chávenas), e os que se encontram mais na parte superior da mobília e mais para o interior do forno, são os que têm maior probabilidade de serem peças não conformes no final da decoração (Figura 79).



Figura 78 - Pires decorado defeituoso, em que é visível a destruição de uma parte do decalque devido ao colapso de bolha de água aquando da cozedura.

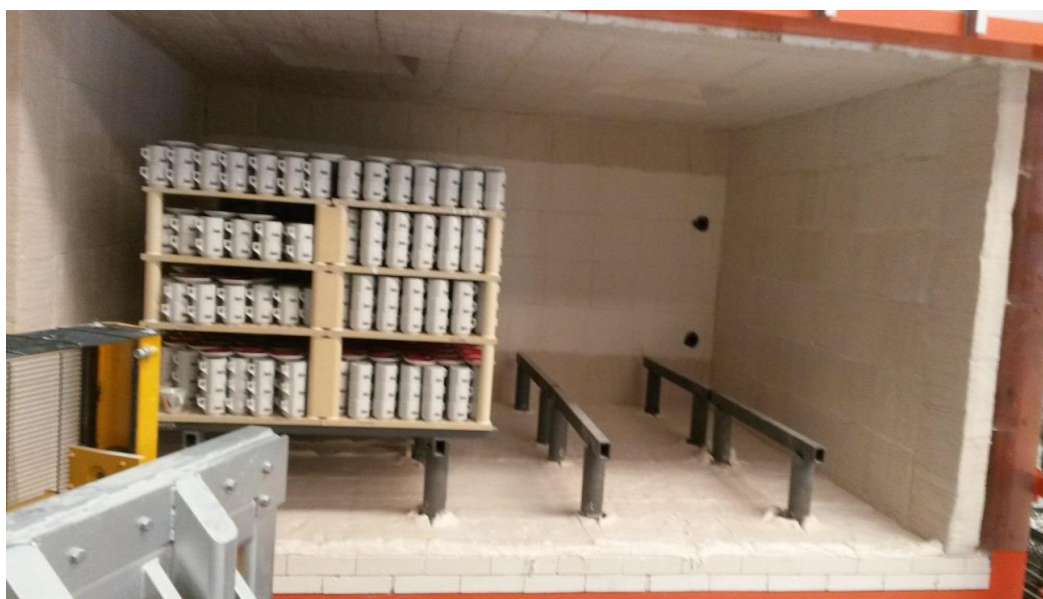


Figura 79 - Mobília com peças decoradas, após cozedura de decoração, em que é visível a colocação dos pires em cima das chávenas.

- Pires Não Conformes, partidos – é quando os pires ficam agarrados às placas da mobília, ou ficam com material a mais ou material a menos na base, que apoia nas placas. Verifica-se com bastante frequência.
- Pires Não Conformes, lixo – é quando os pires incorporam pequenas partículas brancas (aquando da vidragem: quando se deixa cair uma peça no vidro líquido e esta liberta muitas partículas que irão a mais noutras peças; ou aquando do fabrico, ainda nas próprias *rollers*).



## 5 Testes e ensaios experimentais

Neste capítulo será apresentada a abordagem seguida e testes feitos, de forma a reduzir o desperdício. A prioridade inicial foi compreender bem o processo produtivo, especialmente a parte compreendida entre a chacoagem e a cozedura do vidrado, uma vez que é nesta fase que o refugo é maior.

Com o evoluir do projeto e o conhecimento dos ensaios, iniciaram-se testes a fim de tentar caracterizar as matérias-primas e produtos durante o fabrico, pois para garantir a qualidade de um produto é necessário realizar um controlo de todos os materiais utilizados na sua produção.

### 5.1 Ensaio de reologia

A reologia, em sentido lato, significa o estudo da fluência e da deformação da matéria. O modo como o sistema argila-água flui sob a acção duma força (*stress*) tem muita importância na indústria cerâmica. A moldagem ou formação dos corpos cerâmicos através de processos variados: extrusão, pressão, trabalho e alambugem (*slip-casting*), requer bons conhecimentos das propriedades reológicas da pasta ou barbotina [35].

Na indústria cerâmica as suspensões de materiais sólidos são de grande importância, sendo utilizadas nas mais diversas fases de fabrico, tais como a preparação de pasta por via húmida, a conformação por enchimento de barbotina, a preparação e a aplicação de vidrados e de tintas [36].

A obtenção de barbotinas com propriedades reológicas reprodutíveis obriga a ajustar parâmetros como a viscosidade, tixotropia e densidade. Este controlo permite otimizar os processos de fabrico. A reologia está relacionada com a deformação e as propriedades de fluxo de substâncias sob a influência de forças exteriores. Para se poder definir comportamento reológico de uma barbotina cerâmica é necessário usar conceitos relevantes de uma matéria uniforme [37].

Antes de iniciar o processo de vidragem, a densidade do vidro é verificada pelos colaboradores e ajustada de acordo com o tipo de peça a vidrar. No entanto, para formular a suspensão, é necessário verificar se as características da matéria-prima (vidro) estão de acordo com o certificado do lote e só depois é verificada a densidade e viscosidade da suspensão.

#### 5.1.1 Determinação da densidade de uma suspensão

O controlo da densidade do vidro é feito sempre que se muda de peça, se inicia um novo carro de vidrado (Figura 80) ou entra um novo colaborador para o posto de vidragem. O procedimento é o mesmo usado para medir a densidade da pasta.

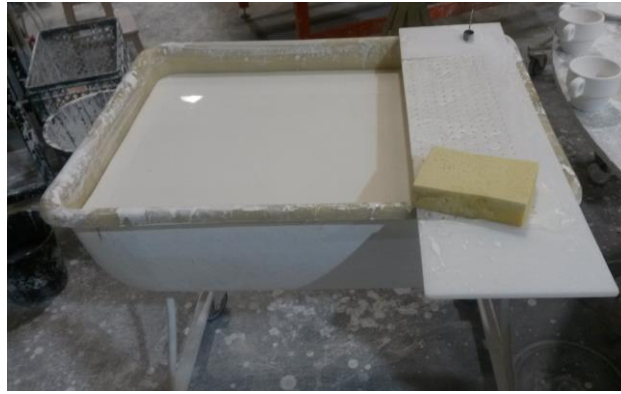


Figura 80 - Carro com suspensão de vidro.

## 1. Objetivo [15]

Determinação da densidade ( $d$ ) de uma suspensão.

## 2. Descrição [15]

### 2.1. Aparelhos e Utensílios

Picnómetro (Figura 81) e balança.

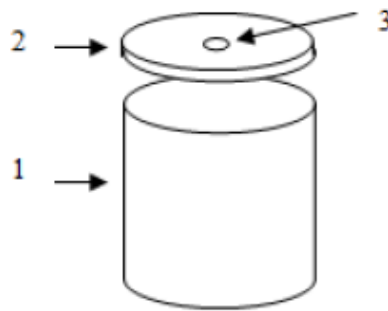


Figura 81 - Esquema ilustrativo de um picnómetro: 1 - picnómetro; 2 - tampa; 3 - orifício

### 2.2. Modo operativo [15]

2.2.1. Utilizar um picnómetro (aço) de 100 ml ( $100 \text{ cm}^3$ ) (Figura 82) tarado na balança;

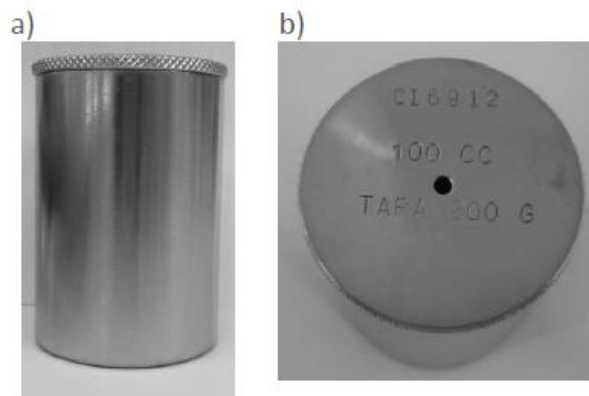


Figura 82 - Picnómetro de inox, a) visão frontal, b) visão de topo.

2.2.2. Encher o picnómetro com a suspensão;

2.2.3. Colocar a tampa e deixar sair a suspensão excedente;

2.2.4. Pesar o picnómetro cheio ( $M$ ) depois de lavado, exteriormente, com água corrente e seco;

Ou, o picnómetro é completamente cheio e pesa-se o conjunto numa balança de capacidade adequada e com sensibilidade de 0,01 g. À massa obtida subtrai-se a massa do picnómetro.

2.2.5. A densidade da suspensão é calculada pela equação (1), usando a massa da suspensão ( $M$ ) e o volume ( $V$ ).

$$\text{densidade} \left[ \frac{g}{L} \right] = \frac{M}{V} * 1000 \quad (1)$$

Este ensaio tem por objetivo a medição da densidade da suspensão de pasta (Figura 83), vidrados ou matérias-primas plásticas.



Figura 83 - Barbotina para fabrico de asas manualmente.

### 5.1.2 Determinação da fluidez de uma suspensão

A taça Ford é constituída por um recipiente cilíndrico, terminado por um cone, rematado no vértice por um furo calibrado. A barbotina ou vidrado são aí vertidos, medindo-se o seu tempo de escoamento, que pode ser expresso em segundos ou em graus *Engler* (quociente entre o tempo de escoamento da suspensão e o tempo de escoamento de igual volume de água, à mesma temperatura). O diâmetro do furo de escoamento é variável, sendo utilizado o de 2 milímetros (taça Ford nº2) (Figura 84).



Figura 84 - Taça Ford de 2 milímetros utilizada no ensaio.

Para determinação da viscosidade da barbotina ou vidrado, começa-se por agitar a suspensão a analisar e, de seguida, enche-se a Taça Ford (Figura 85) com a mesma, tapando o orifício inferior com o dedo. Posteriormente destapa-se o orifício e deixa-se escoar a suspensão até esvaziar completamente, sendo que o tempo de escoamento é



cronometrado. Assim, o resultado é o tempo, em segundos (s), gasto no escoamento de toda a pasta.

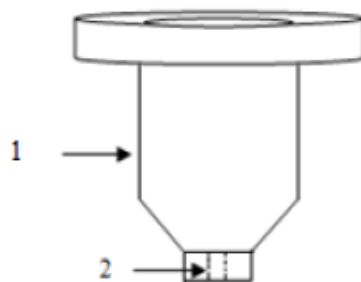


Figura 85 – Esquema ilustrativo de uma Taça Ford: 1 – Taça Ford; 2 – orifício

## 1. Objetivo [15]

Determinação da fluidez da suspensão em taça Ford.

## 2. Descrição [15]

### 2.1. Aparelhos e Utensílios

Taça Ford e cronómetro (Figura 86).



Figura 86 - Cronómetro utilizado para medir o tempo de escoamento da suspensão.

### 2.2. Modo operativo

- 2.2.1. Utilizar a taça Ford (100 mililitros de capacidade, furo de 2 milímetros de diâmetro);
- 2.2.2. Tapar exteriormente o orifício inferior da taça Ford;
- 2.2.3. Encher a taça até cima com a suspensão;
- 2.2.4. Destapar o orifício de saída da taça e simultaneamente iniciar a contagem do tempo de escoamento da suspensão;
- 2.2.5. O tempo de escoamento cronometrado em segundos corresponde ao valor da viscosidade da suspensão.

## 5.2 Ensaios utilizados no controlo do processo - pasta e peças

Cada matéria-prima que chega à empresa é acompanhada de uma ficha técnica, no entanto, é necessário comprovar pelos métodos da empresa se as características estão de acordo com a ficha técnica. Das análises às matérias-primas, salienta-se a percentagem de humidade, dureza e perda ao rubro (pasta) e a absorção de água (gessos).



### 5.2.1 Dureza da Pasta - Penetrómetro

A dureza da pasta é medida com o auxílio de um penetrómetro, representado na Figura 87 a), equipamento que ao ser pressionado contra a pasta, indica a dureza desta em bar (unidade de medida de pressão) (Figura 87 b).

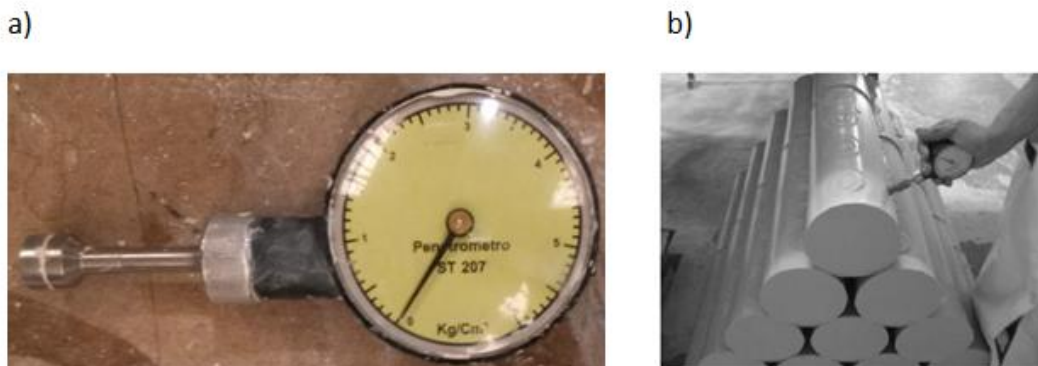


Figura 87 - a) Penetrómetro ST207 (0 a 5,88 bar); b) Método de medição da dureza da pasta.

### 5.2.2 Medição de espessuras de peças - Paquímetro

As especificações técnicas do produto são normalmente definidas pelo cliente, desta forma é necessário controlar qualitativamente e quantitativamente o produto. Na porcelana é essencial manter a espessura da beira, esta é uma das principais características que leva o cliente a preferir esta, relativamente a outras cerâmicas.

O paquímetro (Figura 88) é usado para controlar as espessuras da beira ( $E_b$ ) e do fundo ( $E_f$ ) das peças em produção (Figura 89). Este, bem como todos os equipamentos de medição devem ser calibrados ou verificados, como a norma ISO 9001:2008 exige [38].



Figura 88 - Paquímetro digital, Mitutoyo.

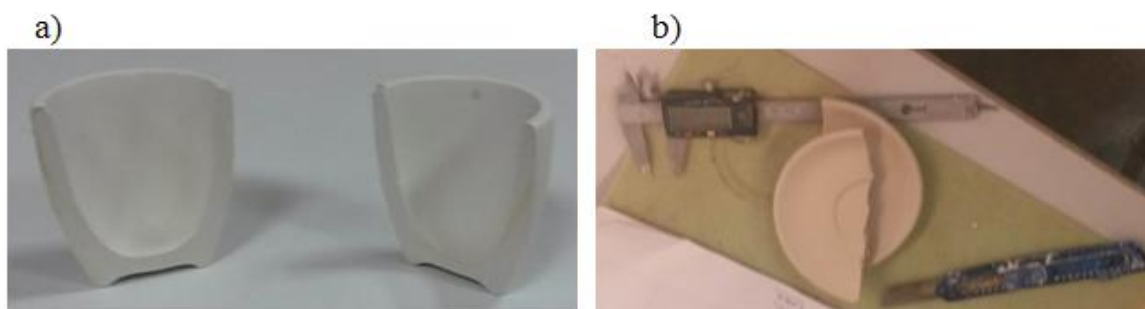


Figura 89 - Verificação das espessuras: a) no caso da chávena; b) no caso de um pires.

### 5.2.3 Massas - Balança

Relativamente às massas das peças (Figura 90), também são alvo de um controlo semelhante ao das espessuras. Estas devem estar de acordo com os valores especificados na ficha da peça. Sempre que são ultrapassados os valores de controlo, a conformação deve ser corrigida, de modo a não afetar as medidas das espessuras e para evitar que os valores limite (superior à tolerância) sejam atingidos.

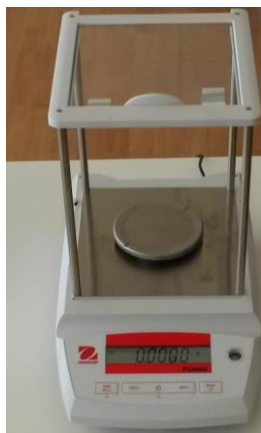


Figura 90 - Balança OHAUS PA214C.

### 5.2.4 Determinação da percentagem de humidade de pastas e peças

Para determinar a percentagem de humidade, pesa-se a amostra que se pretende, pasta ou peça (Figura 91, Figura 92 e Figura 93) (P1), que posteriormente é colocada na estufa (Figura 94) a uma temperatura de 100°C, com tempo de permanência de 24 horas.

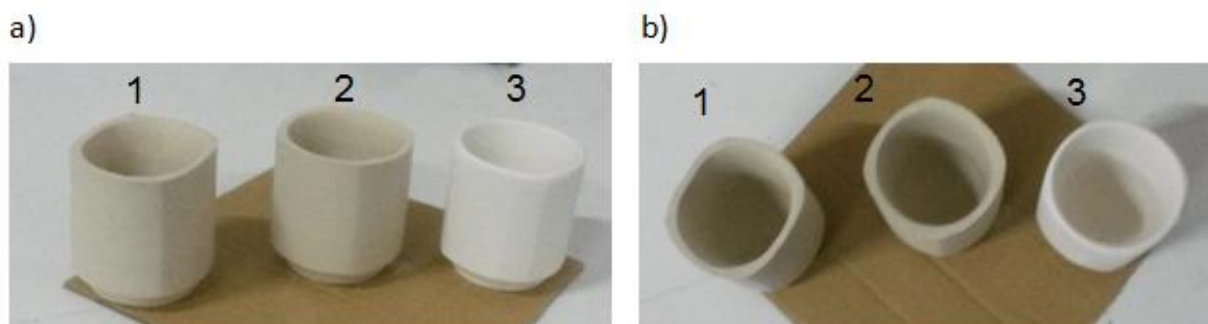


Figura 91 – a) Vista frontal de três chávenas em diferentes estágios: 1 – Após conformação na *roller*; 2 – após secagem na *roller*; 3 – Após secagem no secador de branco; b) Vista de cima das mesmas.



Figura 92 - Pires após secagem no secador de branco, para posteriormente serem pesados para determinação da percentagem de humidade.



Figura 93 - Pesagem de uma chávena após a saída do secador da roller.



Figura 94 - Estufa utilizada para o ensaio de determinação de humidade.

Decorrido esse tempo, tira-se a amostra da estufa, deixa-se a mesma arrefecer, pesa-se a amostra já seca (P2) (Figura 95).



Figura 95 - Pesagem de pires seco.

Por último, determina-se a humidade presente na matéria-prima ou peça. Este valor é obtido pela equação 2:

$$\% \text{ Humidade} = \frac{P1-P2}{P1} * 100 \quad (2)$$

#### 5.2.5 Determinação da percentagem de perda ao rubro das pastas

Durante o processo de cozedura, ocorre a combustão da matéria orgânica e a decomposição de certos minerais, tais como carbonatos (calcite, dolomite e gesso), sulfatos e minerais argilosos, com emissão de voláteis tais como CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O. Estas transformações, no seu conjunto, dão origem a uma diminuição da massa inicial da amostra [39]. Define-se perda ao rubro como sendo a perda de massa relativamente à massa inicial de uma determinada amostra, que neste ensaio foi pasta, após aquecimento a uma temperatura superior a 1000°C.

## 1. Objetivo [15]

Definir o procedimento a seguir na determinação da perda ao rubro na cozedura.

## 2. Descrição [15]

### 2.1. Aparelhos e Utensílios

Mufla, forno de cozedura e balança.

### 2.2. Modo Operatório

2.2.1. Retirar pedaços da amostra a ensaiar, pasta (Figura 96), e secar na mufla do laboratório;



Figura 96 - Amostra de pasta recolhida num tarugo armazenado numa paleta do fornecedor, estado seco.

2.2.2. Pesar as amostras secas ( $P_s$ ) e registar os respetivos valores (Figura 97);



Figura 97 - Pesagem da amostra de pasta recolhida.

2.2.3. Cozer as amostras no forno da produção (forno de alta temperatura, vidrado) (Figura 98);



Figura 98 - Pedacos de pasta depois da cozedura acima de 1000°C.

2.2.4. Pesar as amostras cozidas ( $P_c$ );

2.2.5. Determinar a percentagem de perda ao rubro (%PR) através da equação 3:

$$\%PR = (P_s - P_c) \times 100 / P_s \quad (3)$$

em que:

% PR – Percentagem de perda ao rubro;

Ps – Massa do corpo de prova seco (g);

Pa – Massa do corpo de prova cozido (g).

#### 2.2.6. Registar os valores obtidos

### 5.2.6 Determinação da percentagem de absorção de água de peças chacotadas

No estudo de materiais torna-se, necessário ou desejável examinar os elementos estruturais e os defeitos que influenciam as suas propriedades. Tais exames são importantes para assegurar que as associações entre as propriedades e a estrutura, e por sua vez com os defeitos, sejam compreendidas de forma apropriada, e para prever as propriedades dos materiais, uma vez estabelecidas tais relações [40]. A absorção de água por um corpo cerâmico é influenciada pela distribuição granulométrica (distribuição da dimensão do grão) de uma matéria-prima ou pasta, pela composição química e mineralógica dos minerais argilosos, pela sua própria estrutura cristalina e, ainda, pela porosidade existente na peça após secagem e cozedura. O ensaio da determinação da percentagem de absorção de água permite determinar o grau de sinterização de uma determinada pasta ou matéria-prima argilosa cozida, quando mergulhada em água, tendo sido realizado de acordo com o Procedimento de Controlo de Processo nº C-03-00 do CENCAL [41].

#### 1. Objetivo

Determinação da percentagem de absorção de água. A absorção de água indica o nível de porosidade de uma peça cerâmica. Quanto menor a porosidade de uma peça, menor a quantidade de água que ela absorve [15].

#### 2. Descrição

##### 2.1. Aparelhos e Utensílios

Recipiente plástico ou outro, balança, cronómetro, forno de cozedura e pano húmido.

##### 2.2. Modo Operatório

2.2.1. Retirar amostras (peças) a ensaiar do forno da produção (Chacotagem);

2.2.2. Pesar as amostras cozidas (P2) (Figura 99) e registar os valores;



Figura 99 - Pesagem de um pires após cozedura de chacotagem.

2.2.3. Introduzir as amostras num recipiente com água, à temperatura ambiente, durante 24 horas, de modo a que fiquem todas cobertas (Figura 100);

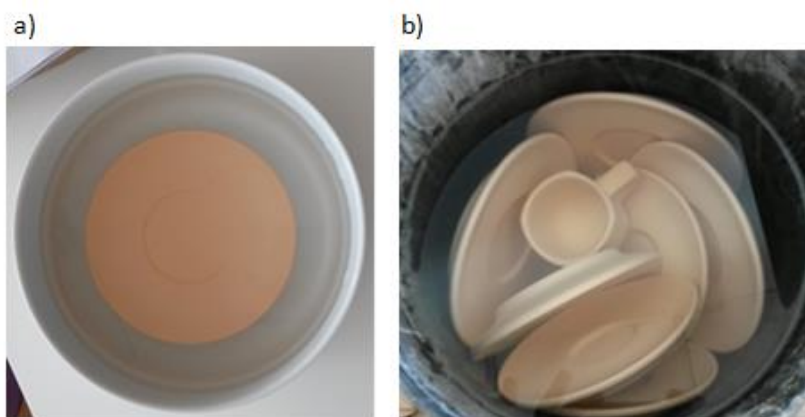


Figura 100 - a) Pires chacoatado mergulhado em água fria durante 24 horas; b) várias peças (pires e chávenas) mergulhadas em água fria.

2.2.4. Após este período de tempo, remover a água superficial com auxílio de um pano húmido, e pesar as amostras ( $P_3$ );

2.2.5. Determinar a percentagem de absorção de água através da equação 4:

$$\%AA = \frac{P_3 - P_2}{P_3} * 100 \quad (4)$$

Onde % AA representa o valor da percentagem de absorção de água;  $P_3$  representa a massa dos pedaços dos provetes húmidos (em gramas);  $P_2$  representa a massa dos provetes secos (em gramas).

## 5.2.7 Análise dilatométrica

A análise térmica dilatométrica é de grande importância para a indústria cerâmica, uma vez que permite o registo contínuo das variações de volume que um corpo de prova sofre, quando submetido a ciclos de aquecimento e arrefecimento, permitindo assim a avaliação e controlo das dimensões finais dos produtos e possíveis ocorrências de defeitos, tal como as fissuras, deformações e tensões residuais [42].

A análise térmica-dilatométrica permite pôr em evidência as variações de volume relacionadas com o coeficiente de dilatação, com a eliminação de alguns constituintes por formação de compostos voláteis, com reações e transformações cristalquímicas, com a sinterização, com a formação da fase vítrea ou líquida e com deformações. Permite ainda efetuar estudos cinéticos de certas transformações, se a temperatura for mantida de forma constante e se o registo dilatométrico for feito em função do tempo [35].

Este ensaio pode ser realizado em provetes crus e cozidos dando indicações importantes sobre a composição mineralógica, as variações de volume que os corpos cerâmicos sofrem e o comportamento que a matéria-prima argilosa tem no sistema pasta-vidrado. Geralmente, até temperaturas que rondam 400 °C verifica-se uma dilatação linear que termina quando se inicia a eliminação da água de constituição [42].



O quartzo, quando presente nos corpos cerâmicos, é responsável por uma dilatação considerável que ocorre por volta de 573 °C. Esta dilatação, durante o aquecimento, resulta da transformação ou inversão de quartzo  $\alpha$  para quartzo  $\beta$ . Durante o arrefecimento, ocorre uma variação do volume que se materializa numa retração, devido à passagem de quartzo  $\beta$  para quartzo  $\alpha$  [42].

Dentro dos minerais argilosos, a presença dos mesmos nos diferentes provetes é de fácil identificação, uma vez que estes exibem algumas características típicas. Ou seja, uma contração significativa a baixas temperaturas (entre 175 °C e 300 °C), indica a existência de montmorilonite devido à libertação de água estrutural, podendo funcionar como sinal de alerta para o industrial, uma vez que este efeito acabará por fazer aumentar a possibilidade de ocorrência de defeitos nos corpos cerâmicos [42].

Em argilas ílíticas que, em regra, possuem uma percentagem considerável de quartzo, a curva dilatométrica mostra uma estabilização de variação de volume entre 700 °C e 800 °C, sofrendo posteriormente uma rápida contração. Esta ocorre devido à presença de  $K_2O$  de forma abundante nestas argilas que causa a vitrificação do material. Se por alguma razão esta vitrificação não for homogênea por toda a peça, dá-se a ocorrência de defeitos como a fissuração. A presença de carbonatos em pastas ou matérias-primas argilosas é também facilmente detetável através da análise térmico-dilatométrica, uma vez que ocorre uma retração brusca depois de 800 °C, revelando uma inversão por volta de 900 °C, causando uma expansão que será tanto maior quanto maior for o conteúdo de  $CaCO_3$ . O fim da contração e o início da expansão são processos que se relacionam com a formação de silicatos e aluminossilicatos de cálcio, que reduzem a concentração da fase vítrea e o aumento de  $CO_2$  libertado durante a transformação do  $CaCO_3$ , levando ao aumento da porosidade do material cozido [42].

As curvas de cozedura dos fornos são controladas através de termopares colocados ao longo dos fornos. A medição da percentagem de absorção de água de peças chacoalhadas, conjuntamente com as temperaturas de anel e os registos dos valores das temperaturas medidas pelos termopares do forno de chaco, são determinantes para a tomada de ações corretivas sobre a curva de cozedura (Figura 101).

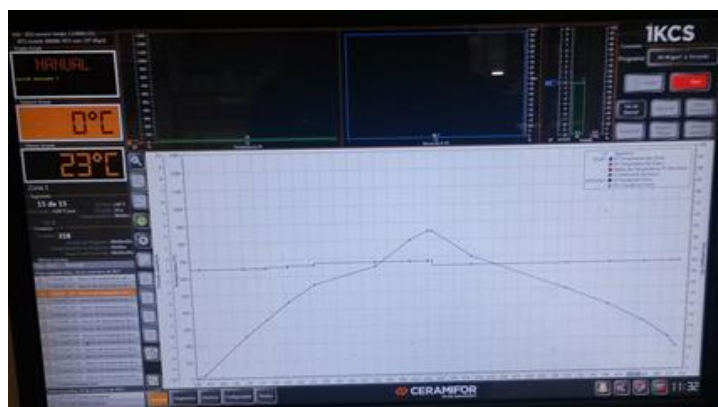


Figura 101 - Curva de cozedura de chacoalhagem praticada na empresa Spiana (temperatura máxima de 850°C).

### 5.2.8 Análise térmica simultânea

A análise térmica evidencia o comportamento dos materiais ao aquecimento e ao arrefecimento. A avaliação dos efeitos térmicos em função da temperatura é de grande auxílio para, por exemplo, a execução duma curva de cozedura adequada ou

indicar como se poderá vir a fazer o acordo pasta/vidrado à temperatura ambiente [43].

A análise térmica diferencial - ATD - é uma análise que regista mudanças físicas e químicas que sejam acompanhadas por absorção de calor (reação endotérmica) ou libertação de calor (reação exotérmica) numa amostra sujeita a um ciclo térmico. Esta análise baseia-se na medição da diferença de temperatura entre a amostra (a analisar) e uma substância de referência termicamente inerte [44].

A análise termo-gravimétrica - ATG - permite a medição, em simultâneo, das variações da massa que podem ocorrer num material durante o ciclo térmico [44].

### 5.2.9 Determinação da capacidade de absorção de água de gessos

#### 1. Objetivo [45]

Este procedimento tem por objectivo a descrição do processo de determinação da capacidade de absorção de água de gessos.

#### 2. Domínio de aplicação [45]

Este procedimento é aplicável a gessos.

#### 3. Aparelhos e utensílios [45]

1. Balança de capacidade adequada e com sensibilidade ao decigrama;
2. Cápsula com cerca de 150 mm de diâmetro;
3. Estufa de secagem para  $45\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 102);



Figura 102 - Estufa utilizada para secagem das formas/moldes.

4. Exsicador;
5. Moldes de material plástico desmontáveis com medidas internas de 50 mm x 50 mm x 50 mm (nota: em substituição, utilizaram-se as madres de produção das formas);
6. Proveta de 100 ml.



#### 4. Modo operativo [45]

##### 1. Constituição da amostra a ensaiar

A amostra a ensaiar é constituída por gesso tal qual vem na respectiva embalagem (Figura 103).



Figura 103 - Gesso em pó.

##### 2. Método de Ensaio

Faz-se a pasta de gesso com a relação gesso-água que se pretende ensaiar (Figura 104).



Figura 104 - Programa que permite fazer a relação gesso - água desejada.

Enquanto a pasta de gesso está fluída (Figura 105), vaza-se nos moldes sem transbordar (Figura 106 a), mas por forma que se possa rasoar/nivelar quando o gesso tiver consistência suficiente (Figura 106 b).



Figura 105 - Pasta de gesso fluida.

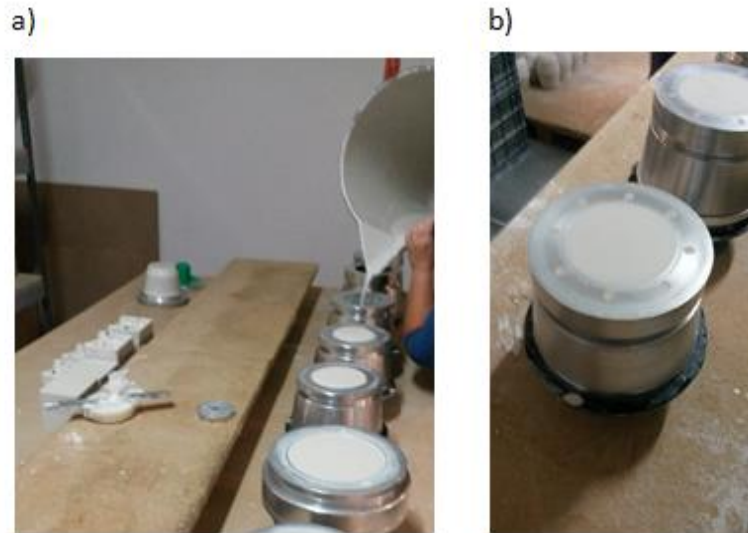


Figura 106 - a) Vazamento da suspensão de gesso; b) molde de gesso a ganhar consistência.

As formas de gesso são desmoldadas depois de arrefecidas, devendo apresentar as faces lisas e sem rebarbas (Figura 107).

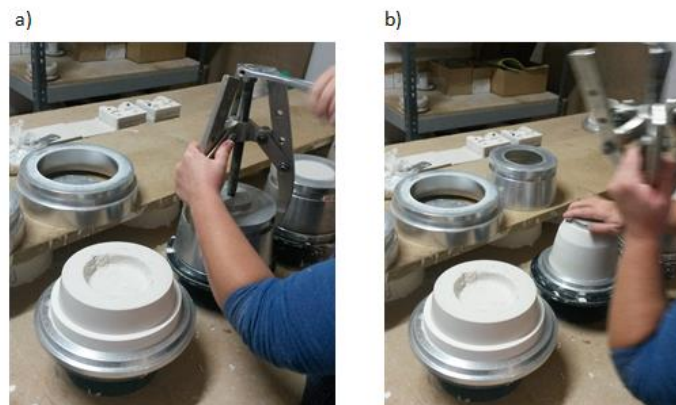


Figura 107 - Formas de gesso desmoldadas.

Coloca-se uma forma de gesso, preparada como indicado anteriormente, na estufa de secagem a  $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Figura 108), durante 24 horas até que a massa seja constante.



Figura 108 - Painel de controlo do secador, onde é definida a temperatura e a duração da secagem.

Retira-se a forma de gesso da estufa e deixa-se arrefecer à temperatura ambiente (Figura 109).



Figura 109 - Formas de gesso armazenadas depois da secagem.

Pesa-se a forma de gesso (Figura 110 a) e mergulha-se depois em água a uma temperatura compreendida entre 15 °C e 20 °C durante 24 horas (Figura 110 b). Registrar a temperatura da água durante o decorrer do ensaio.

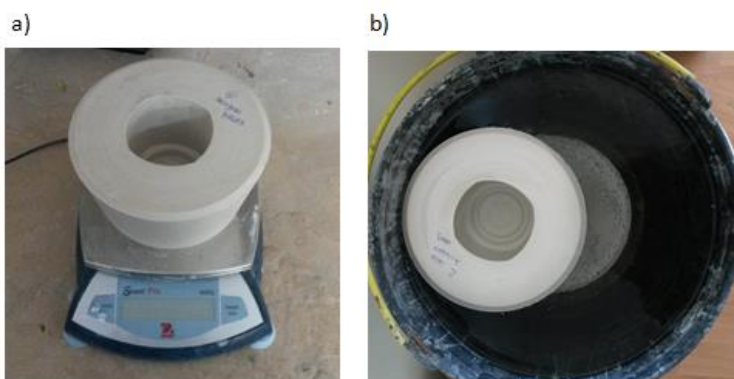


Figura 110 - a) Pesagem da forma de gesso seca; b) Formas de gesso mergulhadas em água.

Retira-se a forma de gesso da água, deixa-se escorrer colocando-o sobre material não absorvente (vidro ou plástico) e mudando por diversas vezes a face de apoio. Vai-se removendo a água que escorre e, enquanto não houver água sobre as faces da forma, pesa-se novamente (Figura 111).



Figura 111 - Pesagem da forma de gesso, após 24 horas mergulhada em água fria.

### 3. Expressão dos resultados

A capacidade de absorção de água expressa em percentagem da massa do gesso é dada pela equação 5:

$$\text{Capacidade Absorção Água (\%)} = \frac{m_1 - m}{m} * 100 \quad (5)$$

onde:

m - massa da forma de gesso com 24 horas de secagem

m<sub>1</sub> - massa da forma de gesso demolhada durante 10 horas

O resultado apresenta-se arredondado às unidades.

#### 5.2.10 Lixo de acabamento

As imagens da Figura 112 ilustram a forma como o lixo de acabamento pode aparecer nas peças.



Figura 112 – Esquerda: lixo de acabamento à saída do forno de vidro; direita: lixo de acabamento à saída da operação de vidragem.

Na tentativa de minimizar este efeito, testou-se a hipótese de limpar uma amostra constituída por dez pires chacotados, durante 5 dias consecutivos, uma vez que é neste tipo de peças que este defeito é mais persistente (Figura 113), e limpá-los com recurso a ar comprimido, vidrá-los e posteriormente observar se o defeito anterior se verificava (Figura 114).



Figura 113 - Peças chacotadas a aguardar o processo de vidragem. É evidenciada a existência de pequenas partículas sobre algumas das peças.





Figura 114 - Peças sujeitas à limpeza prévia com ar comprimido antes da vidragem.

Após observação das 50 peças ensaiadas, constatou-se que nenhuma apresentou o defeito de lixo, ou seja, partículas ou poeiras. Nesse sentido, foi necessário alargar a amostra a ensaiar. Procedeu-se à limpeza de um conjunto de peças, aproximadamente 600 pires, de forma a preencher completamente uma mobília. Para isso, utilizou-se o modelo P10001 de pires chacotados (Figura 115).



Figura 115 - Conjunto de peças chacotadas, que foram utilizadas no teste da limpeza a uma mobília.

Manteve-se o mesmo modo de limpeza, ou seja, ar comprimido. Para além de limpar os pires, limpam-se, também, as prateleiras de madeira onde seriam alocados (Figura 116).

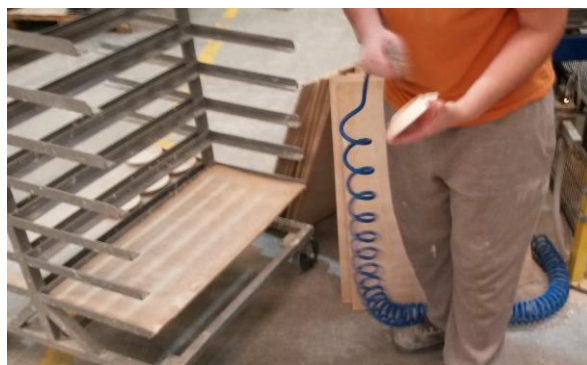


Figura 116 - Limpeza do conjunto de pires com recurso a ar comprimido.

Optou-se por não empilhar os pires, uns sobre os outros, mas sim lado a lado, para evitar eventuais contaminações (Figura 117).



Figura 117 - Após a limpeza, de forma individual, dos vários pires, estes foram colocados, lado a lado, em prateleiras de um carrinho.

Após limpeza de todo o conjunto, o carrinho que alocava os pires foi encaminhado para a seção de vidragem. Após serem vidrados, foram colocados numa mobília, e esta foi ao forno, para ser estabelecido o ciclo de cozedura a alta temperatura.

No dia seguinte, realizou-se a inspeção a 100% a todos os pires ensaiados, sendo estes classificados em conformes ou não. No caso dos pires não conformes, foi indicado o defeito.

## 6 Análise e discussão de resultados

### 6.1 Ensaios utilizados no controlo do processo

#### 6.1.1 Dureza da pasta - Penetrómetro

Cada carga de pasta sai na forma de charutos com um diâmetro específico, definido pelo fim a que se destina. Esta é colocada em paletes para facilitar o seu transporte até ao equipamento de conformação. Cada palete é identificada com um papel que acompanha a pasta até entrar na linha de produção, este tem a dureza média da pasta. Há variações ao longo da carga, isto é, a mesma carga não tem um valor único de dureza.

Este ensaio de medição de dureza pretende mostrar a tendência da dureza da pasta. Esta não segue um padrão, o que leva a concluir que a dureza da pasta é um valor muito variável. Este facto não favorece o controlo da produção.

Sabe-se que a pasta no filtro prensa ocupa diferentes posições e pode conter humidade variável. Este fato contribui para a diferença da dureza da pasta. Mas posteriormente o bolo filtrado é "amassado" no sem fim para despistar esta heterogeneidade [9].

Por outro lado, a dureza da pasta varia ao longo do charuto, as extremidades secam mais rapidamente, aumentando a dureza nesta zona. Para reduzir a perda de humidade da pasta, esta é tapada com plásticos, como se pode ver na Figura 17 b).

Estes valores de dureza foram medidos em zonas aleatórias dos charutos e em diferentes charutos pertencentes a paletes e lotes diferentes.

O objetivo deste ensaio foi verificar o desvio de valores entre a dureza medida experimentalmente na Spiana, com o valor de dureza indicado pelo fornecedor (Figura 118).

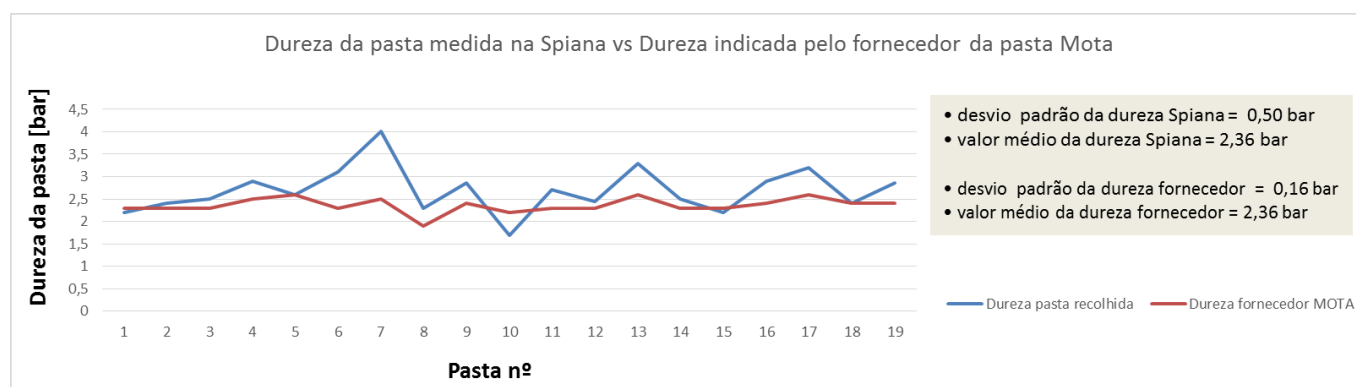


Figura 118 – Gráfico que representa o desvio entre a dureza medida na Spiana e a dureza indicada pelo fornecedor da pasta.

A partir do gráfico ilustrado na Figura 118, é possível constatar a existência de desvios entre o valor medido e o valor indicado pelo fornecedor. Contudo, é preciso ter em atenção o facto de a pasta, após ser recebida na Spiana, por vezes, fica alguns dias armazenada até ser utilizada. Este armazenamento altera as condições da pasta, nomeadamente a humidade (ou dureza). Pois, quando se abrem os fornos, no final das

cozeduras, para retirar as peças, é expelido para o ambiente da fábrica grande quantidade de calor. Calor esse, que fará com que a humidade presente nas pastas armazenadas diminua e por conseguinte aumenta a dureza das mesmas.

Contudo, os desvios que se verificam não são exagerados, mas há que ter presente o conhecimento destes desvios, para quando estes forem em demasia e persistentes, se dialogar com o fornecedor.

A pasta que é fornecida à Spiana tem origem em vários lotes do mesmo fornecedor, ou seja, cada lote é acompanhado por uma ficha técnica que indica a composição da pasta desse lote, bem como a dureza, humidade, retração, etc. Estas características variam de lote para lote. Com o intuito de estudar qual o lote que preserva os valores de dureza mais constantes, construiu-se o gráfico representado na Figura 119.

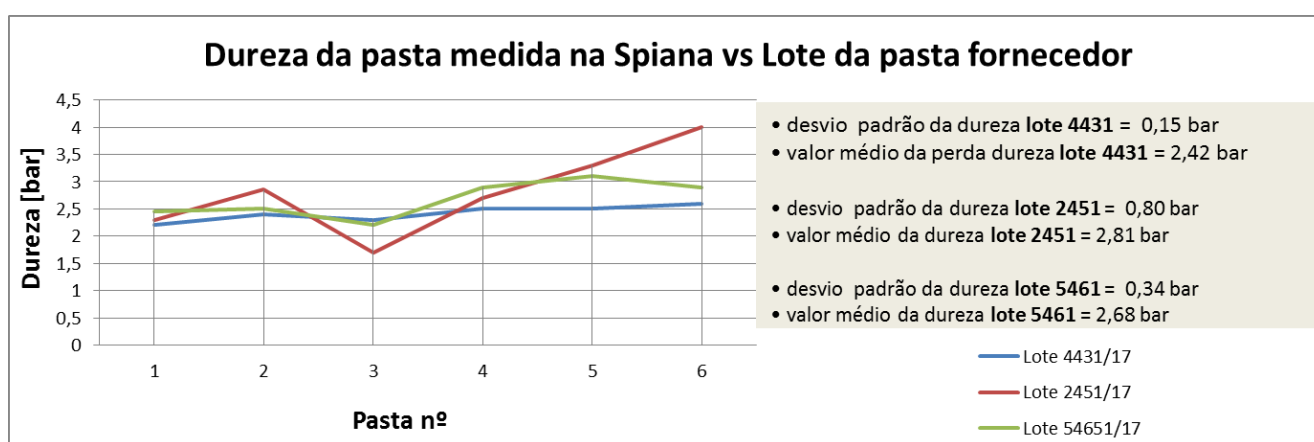


Figura 119 – Gráfico que representa a dureza da pasta medida na empresa Spiana por lote fornecedor.

Através do gráfico da Figura 119 é possível constatar que o lote mais estável, em termos de dureza da pasta é o lote 4431/17. Sendo importante num futuro próximo apostar mais neste lote em detrimento de outros mais instáveis, como é o caso do lote 2451/17.

### 6.1.2 Determinação da percentagem de humidade da pasta

Depois de ser efectuada a medição da dureza da pasta, foi feita a determinação da percentagem de humidade da pasta. Com os resultados medidos experimentalmente, fez-se a correlação com os respectivos valores indicados pelo fornecedor (humidade de extrusão), representada na Figura 120.

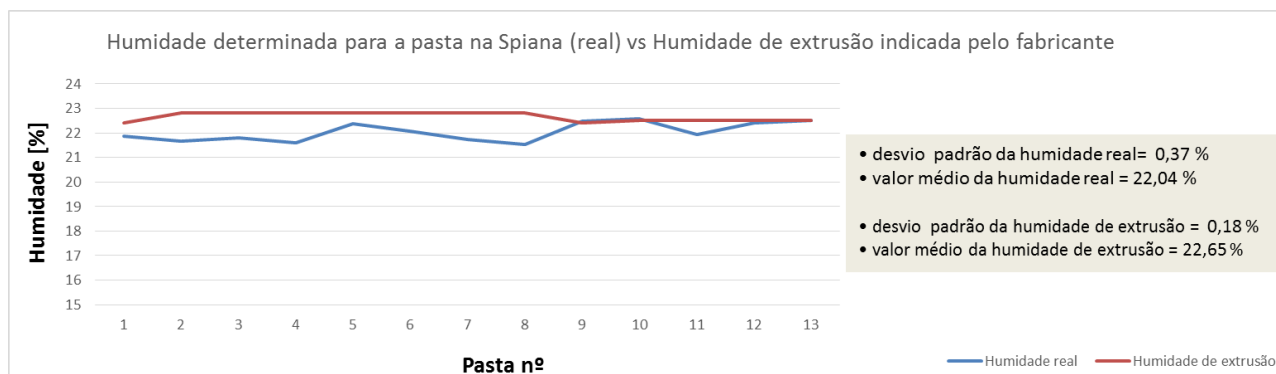


Figura 120 - Gráfico que representa o desvio entre a humidade determinada para a pasta na Spiana, e a humidade de extrusão, da mesma, indicada pelo fabricante.



Da análise ao gráfico da Figura 120 pode-se deduzir um ligeiro desvio da humidade medida na empresa Spiana em relação à humidade indicada pelo fornecedor. Contudo, estes desvios podem ser justificados, por vezes, pelo excesso de tempo de permanência das pastas na empresa desde que chega até ser utilizada, que de acordo com o ambiente que está presente na fábrica, altera os valores de humidade.

Por fim, apenas para verificar a relação entre a humidade e a dureza medidas na empresa Spiana (quanto maior a dureza, menor é a humidade), construiu-se o gráfico representado na Figura 121.

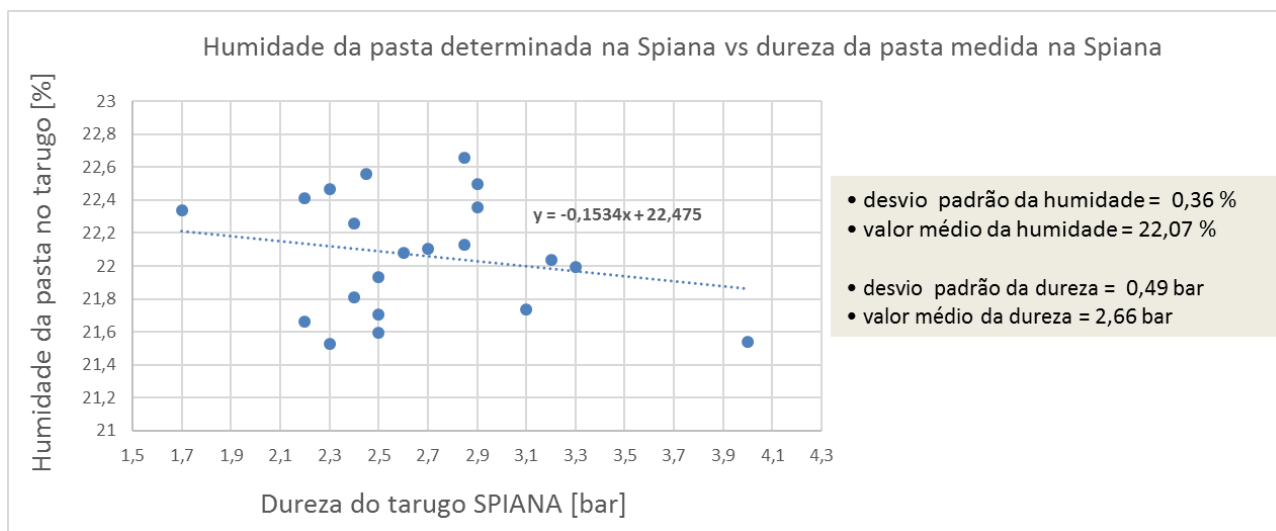


Figura 121 - Gráfico que representa a relação existente entre a humidade da pasta e a dureza da mesma, medidas na Spiana.

Após analisar o gráfico da Figura 121, comprova-se a veracidade da relação entre a humidade e dureza da pasta.

### 6.1.3 Determinação da percentagem de perda ao rubro da pasta

Tal como realizado no caso da dureza das pastas, foi feito um ensaio semelhante para a perda ao rubro, ou seja, analisar a variação deste parâmetro dentro do lote (Figura 122).

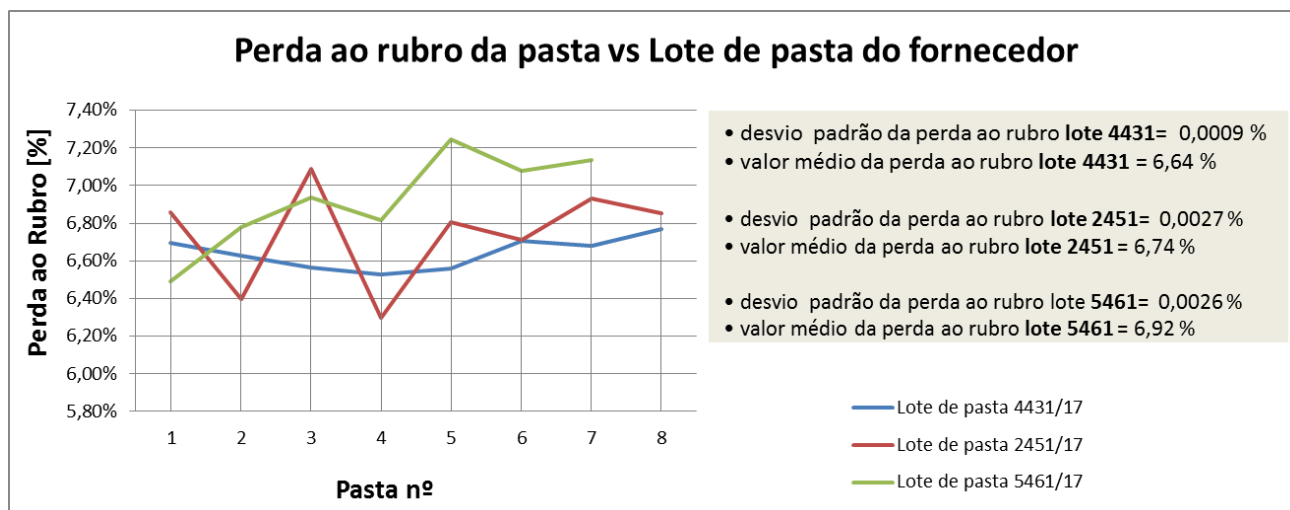


Figura 122 – Gráfico que representa a evolução da perda ao rubro de pastas por lote.

Tal como se concluiu no caso da dureza, no caso da perda ao rubro, o lote que mantém os valores de perda ao rubro mais estáveis é o lote 4431/17.

#### 6.1.4 Determinação da capacidade de absorção de água no gesso

Relativamente a este ensaio, o objetivo principal foi averiguar se os níveis de absorção do gesso se encontravam dentro da gama indicada pelo fornecedor, de modo a concluir se a matéria-prima se encontra em conformidade com o indicado. De acordo com o fornecedor, para uma relação de gesso/água de 1,60 kg/l - 1,75 kg/l, a capacidade de absorção do gesso deve ser  $29 \pm 2$  % [46]. Assim construiu-se o gráfico presente na Figura 123.

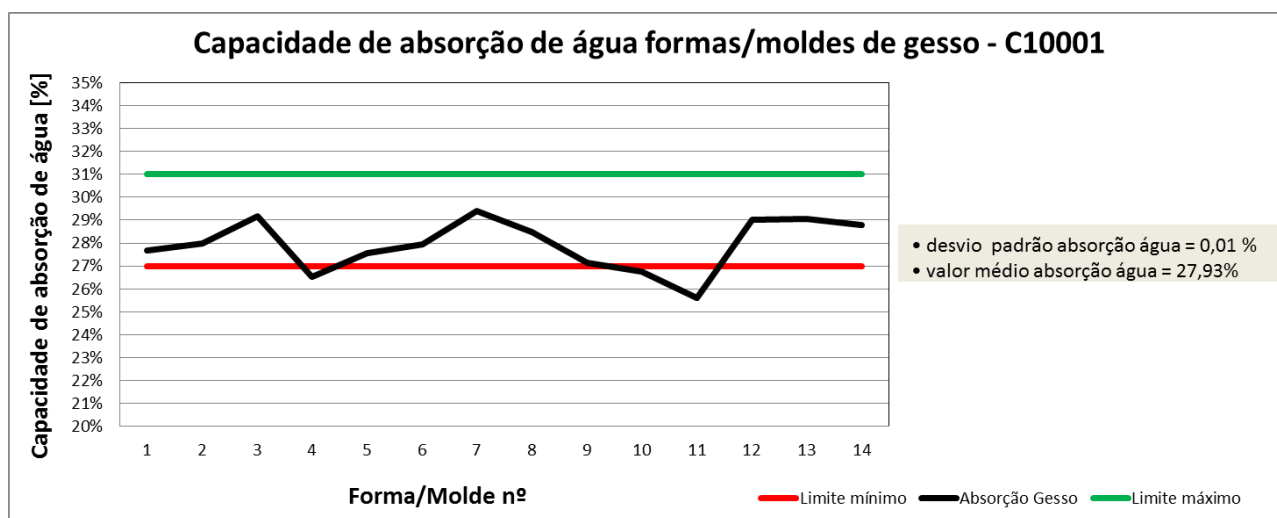


Figura 123 - Gráfico que representa a capacidade de absorção de água das formas que permitem conformar as chávenas do modelo 10001.

A análise do gráfico da Figura 123 revela que nas formas nº 4, 10 e 11, o valor da absorção de água foi inferior ao limite mínimo indicado pelo fornecedor. Estes valores são justificados pela deficiente secagem das formas, depois destas serem produzidas, que é refletido no excesso de massa dos mesmos, verificado após secagem (Tabela 7).

Tabela 7 - Tabela que representa a massa das formas após secagem, a massa das formas após imersão em água durante 24 horas e a respetiva absorção de água.

Forma/Molde nº	Massa em seco [g]	Massa após 24h água [g]	Absorção de água (%)
1	1384,4	1767,7	27,69%
2	1381,9	1768,7	27,99%
3	1376,9	1778,5	29,17%
<b>4</b>	<b>1422,2</b>	<b>1799,3</b>	<b>26,52%</b>
5	1395,6	1780,1	27,55%
6	1388,6	1776,7	27,95%
7	1372,0	1775,1	29,38%
8	1374,6	1766,1	28,48%
9	1395,0	1773,6	27,14%
<b>10</b>	<b>1408,9</b>	<b>1785,8</b>	<b>26,75%</b>
<b>11</b>	<b>1399,5</b>	<b>1758,0</b>	<b>25,62%</b>
12	1374,9	1774,0	29,03%
13	1376,0	1775,6	29,04%
14	1390,0	1789,9	28,77%

Os restantes valores de absorção de água encontram-se dentro da gama adequada.

Aquando da realização deste ensaio, também foi possível estudar a influência da posição de secagem dos moldes, na absorção de água. Durante a secagem, são colocados lado a lado pares de moldes (Figura 124), em que cada par é composto por um molde sobre outro (um com a abertura voltada para cima e outro com a abertura voltada para baixo) tal como é ilustrado na Figura 125.



Figura 124 – Moldes durante o processo de secagem.

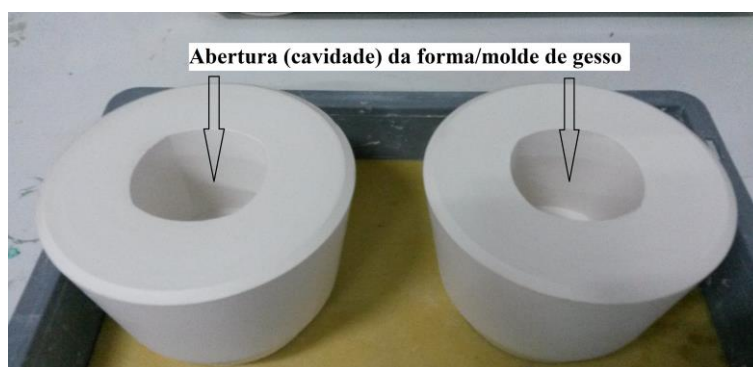


Figura 125 –Indicação da posição do molde durante a secagem, de acordo com a cavidade do mesmo.

Assim, representou-se num gráfico, os valores relativos ao par de formas, de acordo com a sua posição, para o modelo que permite conformar chávenas 10001 (Figura 126).

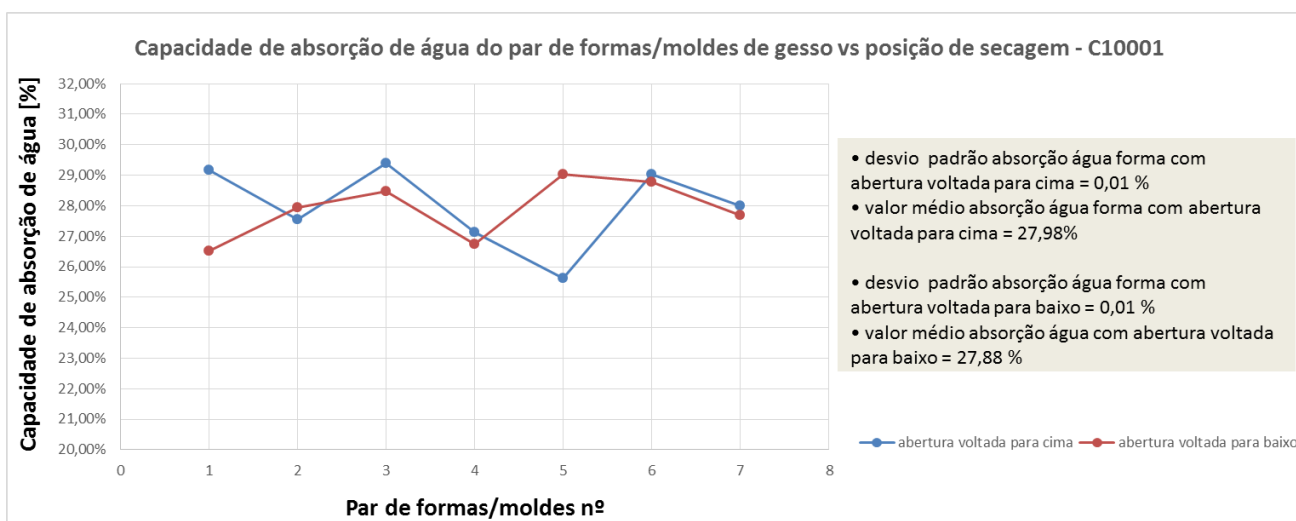


Figura 126 – Gráfico que representa a capacidade de absorção de água do gesso para de moldes de gesso consoante a posição de secagem, para o caso do modelo de chávena 10001.

Da análise do gráfico da Figura 126 conclui-se que na maioria dos pares de moldes, o molde cuja posição é estar com a abertura/cavidade voltada para cima, é o que apresenta maior capacidade de absorção de água. Isto indica, que existe uma não uniformidade de absorção de água dentro do mesmo par, pelo que seria desejável, durante o processo de secagem, trocar as posições de cada par de formas, de modo a uniformizar a absorção.

#### 6.1.5 Medição de espessuras de peças - Paquímetro

O valor das espessuras deve estar de acordo com a medida especificada na ficha de especificação, tendo uma tolerância de  $\pm 10\%$  - valor limite. Os valores de controlo correspondem a uma tolerância de  $\pm 5\%$ . Quando as medidas ultrapassam os valores de controlo (máximo ou mínimo) é necessário tomar medidas para evitar que sejam atingidos os valores limite. Quando os valores de controlo são ultrapassados, o operador responsável, deve afinar o equipamento de modo a que as medidas estejam o mais próximo das especificações.

Os dados recolhidos pelo colaborador são introduzidos numa base de dados, de forma a parametrizar as oscilações dos valores das especificações da peça. Esta tabela é preenchida manualmente sempre que o operador verifica as especificações técnicas da peça, de seguida é transcrita numa folha Excel, para analisar o comportamento da peça ao longo da produção.

Este ensaio é realizado, diariamente, pelos funcionários. Verificou-se que o valor das espessuras esteve de acordo com os valores especificados.

#### 6.1.6 Massas - Balança

Na indústria cerâmica, têm sido feitos esforços significativos na otimização dos processos de conformação de forma a aumentar a qualidade dos produtos e reduzir os custos industriais relativos às perdas de material. Estes custos incluem não só o preço das matérias-primas como também o valor que vai sendo incorporado à peça em cada fase do processo a que é submetida.

No sentido de verificar esta situação, realizaram-se testes relativos às massas das peças, de modo a analisar a existência de variações. Depois de finalizar este teste, verificou-se uma significativa alternância de valores da massa de peças à saída do secador da *roller*. Assim, de modo a compreender melhor a origem da grande variabilidade das massas das peças neste estágio, prosseguiu-se com o ensaio das massas dos tarugos que dão origem às chávenas e pires e também das formas /moldes que são utilizadas para conformar as peças.

##### ○ Tarugos e peças

Este ensaio consistiu na recolha e pesagem de tarugos acabados de cortar na *roller*, no instante imediatamente anterior à conformação desse tarugo de modo a conformar a peça. Foram testados alguns modelos de pires e chávenas mais fabricados na empresa, nomeadamente, os pires 10001 e 30001 e as chávenas 10001 e 30001. Os gráficos que resultaram desta análise encontram-se da Figura 127 à Figura 134.

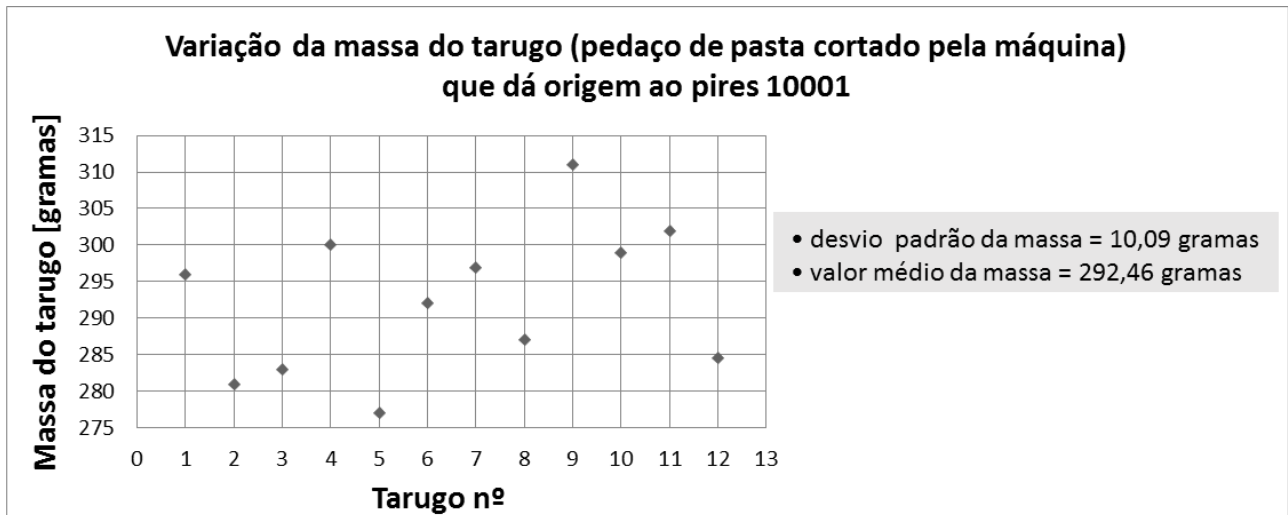


Figura 127 - Gráfico que representa a variação da massa do tarugo no modelo de pires 10001.

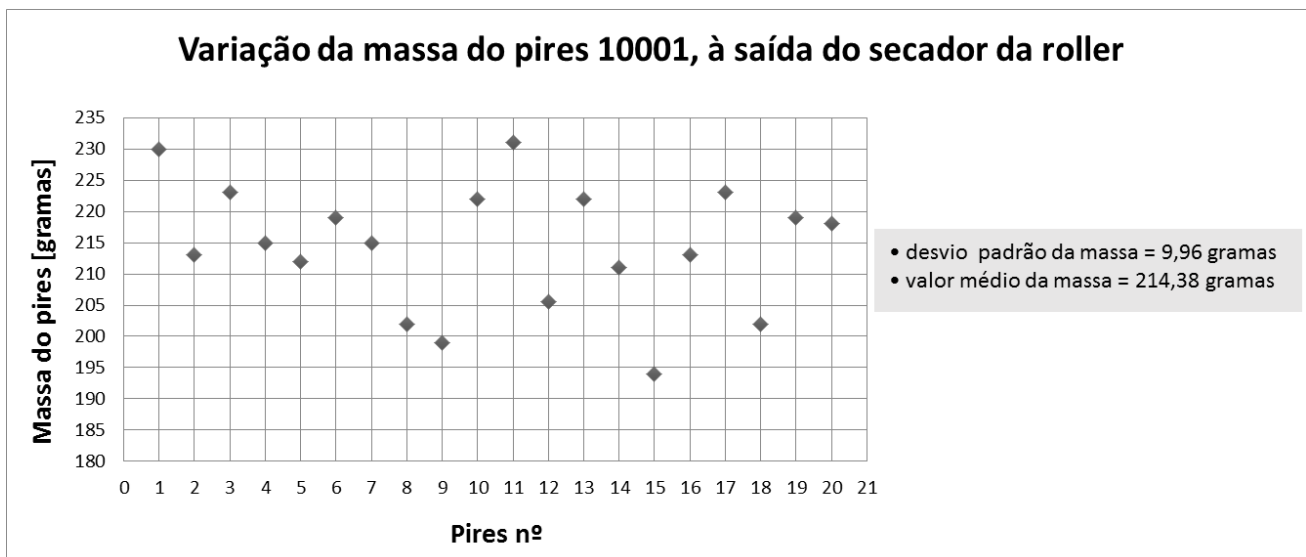


Figura 128 – Gráfico que representa a variação da massa do pires 10001, no estágio: saída do secador da roller.

Da análise dos resultados ao modelo de pires 10001, verificam-se desvios de massa consideráveis. Do conjunto chávena/pires, o elemento mais apreciado pelo cliente é a chávena. O pires, desde que não apresente defeitos visíveis, em termos de massa, o cliente não impõe grandes exigências. Por isso, é de todo interessante, manter a massa dos pires de forma constante, a menos de pequenos desvios, de modo a poupar dinheiro no consumo de matéria-prima (pasta) que vai em excesso nos pires e não acrescenta em nada no valor do produto final.

O preço da pasta por quilograma é, aproximadamente, 0,31€/kg.

Na amostra representada na Figura 128, se o pires nº 15, cuja massa ronda 195 gramas for aceite pelo cliente (pires de referência), o excesso de pasta que foi utilizado nos restantes pires, é sensivelmente 390 gramas. Ora em termos económicos, verifica-se um “desperdício” de pasta (pasta em excesso) de 12 cêntimos. Parece um valor insignificante, mas numa produção diária a rondar os 6 000/7 000 pires 10001, este valor sobe drasticamente. Considerando um desvio médio de 10 gramas, por pires, em relação ao valor médio das massas, numa produção diária de 6 000 pires, o excesso

estimado será de 60 000 gramas. Em termos de custo será, de aproximadamente, 20 euros, só neste modelo, num dia. Valor este, que tomará outras proporções no final do mês e ano, só para este modelo. Como este modelo não é produzido todos os dias, mas é o modelo mais produzido na Spiana, basta que se produza uma vez por semana, por exemplo, para se gastarem cerca de 80 euros no final do mês e cerca de 900 euros anuais (considerando 11 meses de trabalho).

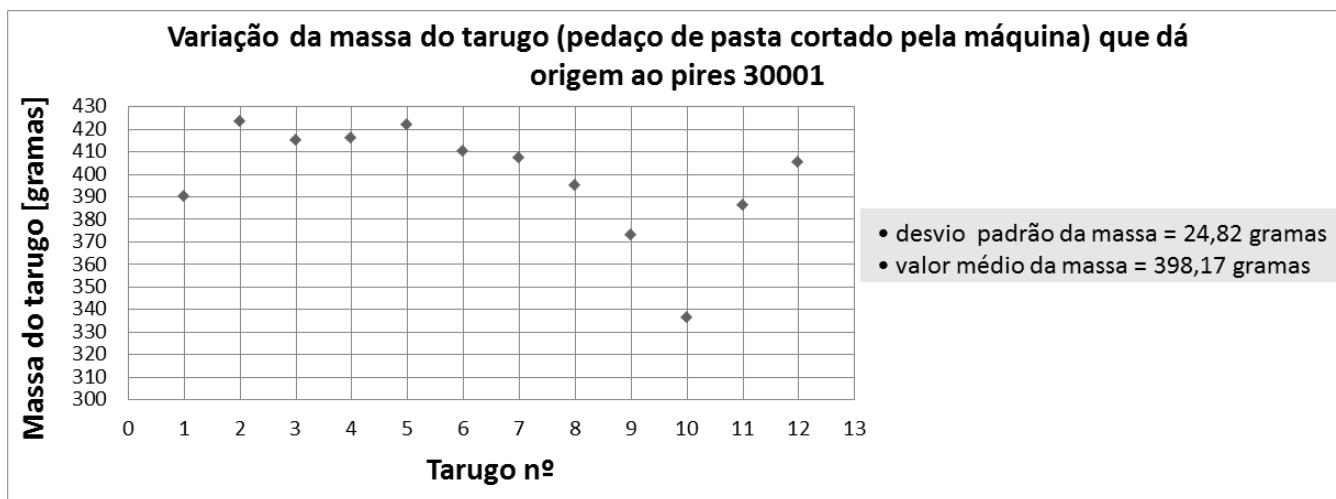


Figura 129 - Gráfico que representa a variação do massa do tarugo no modelo de pires 30001.

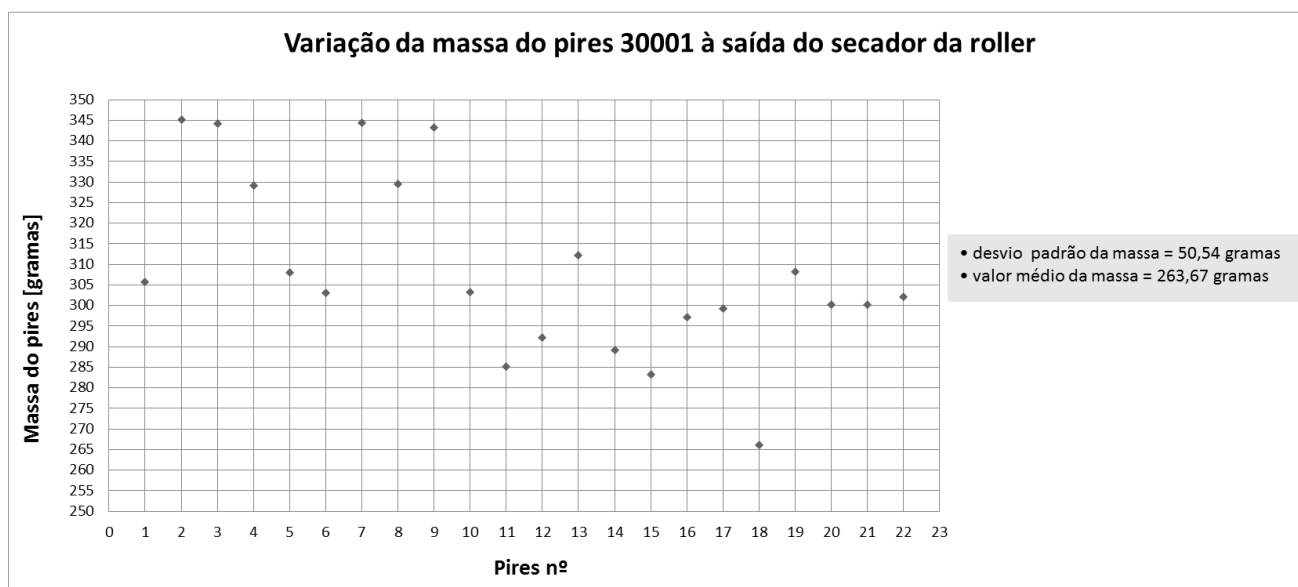


Figura 130 - Gráfico que representa a variação do massa do pires 30001, no estágio: saída do secador da roller.

No que diz respeito ao modelo de pires 30001, a quantidade de pasta que vai em excesso em cada pires, segundo a Figura 130, é muito maior. Analisando o desvio padrão que assume o valor de 50,54 gramas, nesta amostra de 22 pires, o excesso de pasta ronda os 1112 gramas, ou seja, 35 centímetros. Numa produção diária de 6000, por exemplo, este custo aumenta para, aproximadamente, 94 euros. Este valor é muito superior ao estimado para o pires 10001. O pires 30001 tem uma massa média de 400 gramas, na etapa imediatamente a seguir ao secador da *roller*, enquanto o pires 10001 tem uma massa média de 215 gramas, ou seja, quase metade. Quanto maior a dimensão da peça, maior será a quantidade de pasta em excesso em cada pires.

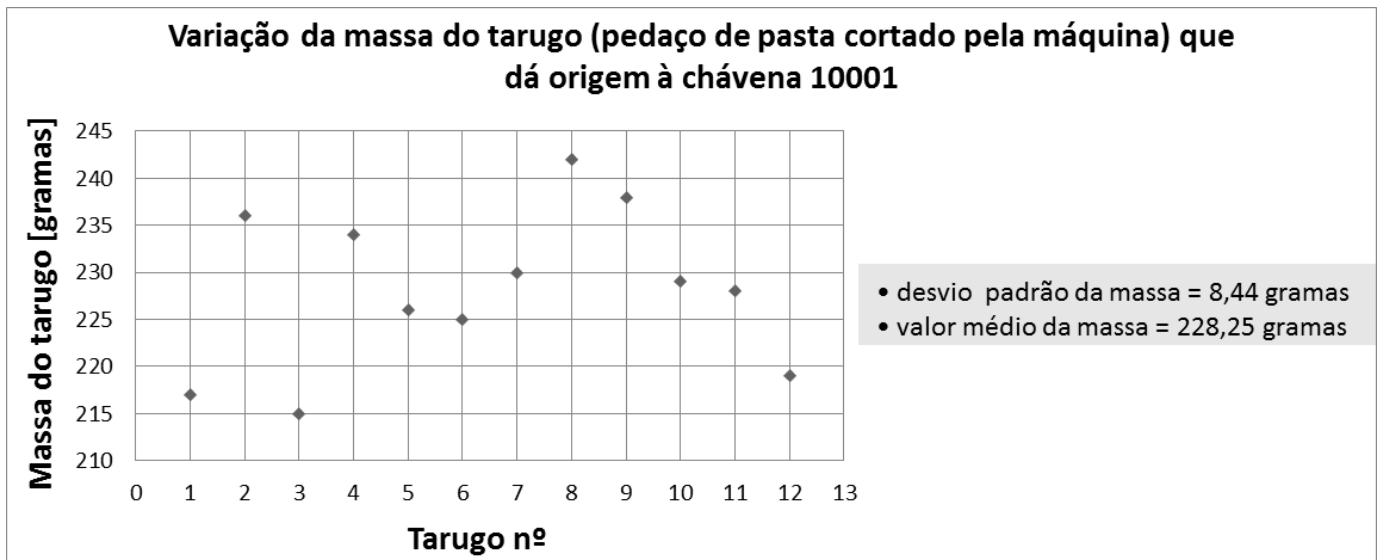


Figura 131 - Gráfico que representa a variação da massa do tarugo no modelo de chávenas 10001.

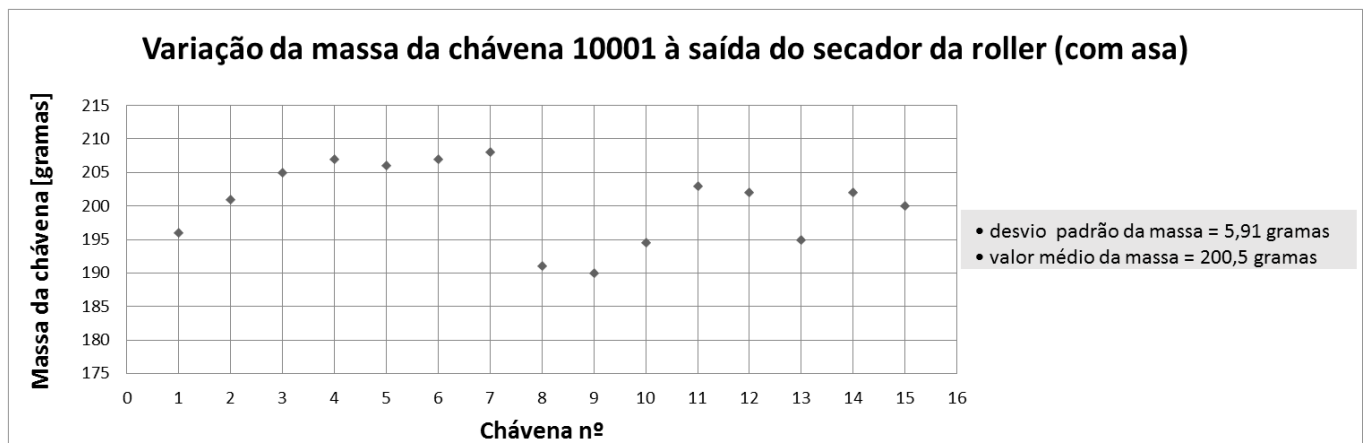


Figura 132 - Gráfico que representa a variação da massa da chávena 10001, no estágio: saída do secador da roller.

Relativamente ao modelo de chávenas 10001, verifica-se que os desvios das massas, tanto nos tarugos como nas chávenas à saída do secador da roller, são menores. Comparando o modelo 10001 de chávena, que será acompanhada pelo pires 10001 para o cliente, a chávena apresenta desvios de massa, aproximadamente metade dos desvios verificados no pires 10001.

Da mesma forma, verifica-se que no caso da chávena 30001, os desvios são muito inferiores aos desvios verificados para o pires 30001.

Daqui se pode concluir que no caso das chávenas, o processo está mais controlado.



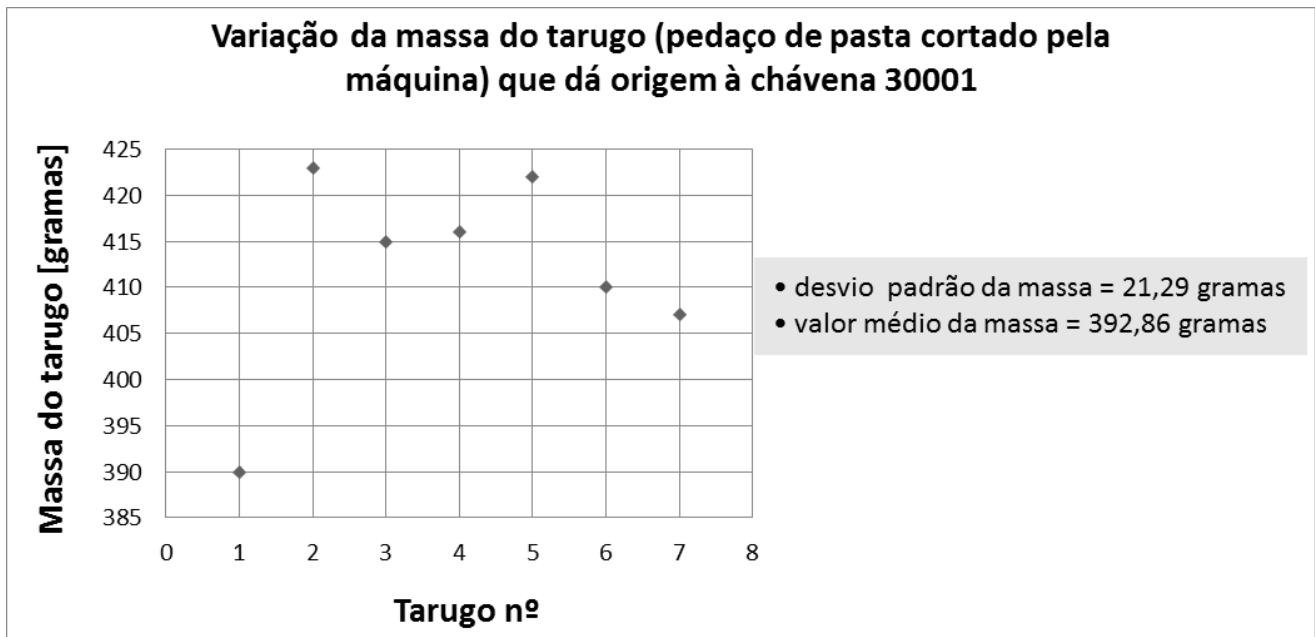


Figura 133 - Gráfico que representa a variação da massa do tarugo no modelo de chávenas 30001.



Figura 134 - Gráfico que representa a variação da massa da chávena 30001, no estágio: saída do secador da roller.

No seguimento do ensaio das massas das peças, decidiu-se averiguar os desvios de massas que existiam no caso das formas/moldes, recorrendo a quatro modelos, ou seja, aos modelos de formas que permitem conformar os pires 10001 (Figura 135) e 30001 (Figura 136) e aos modelos 10001 (Figura 137) e 30001 (Figura 138) das chávenas.

○ Formas/moldes de gesso

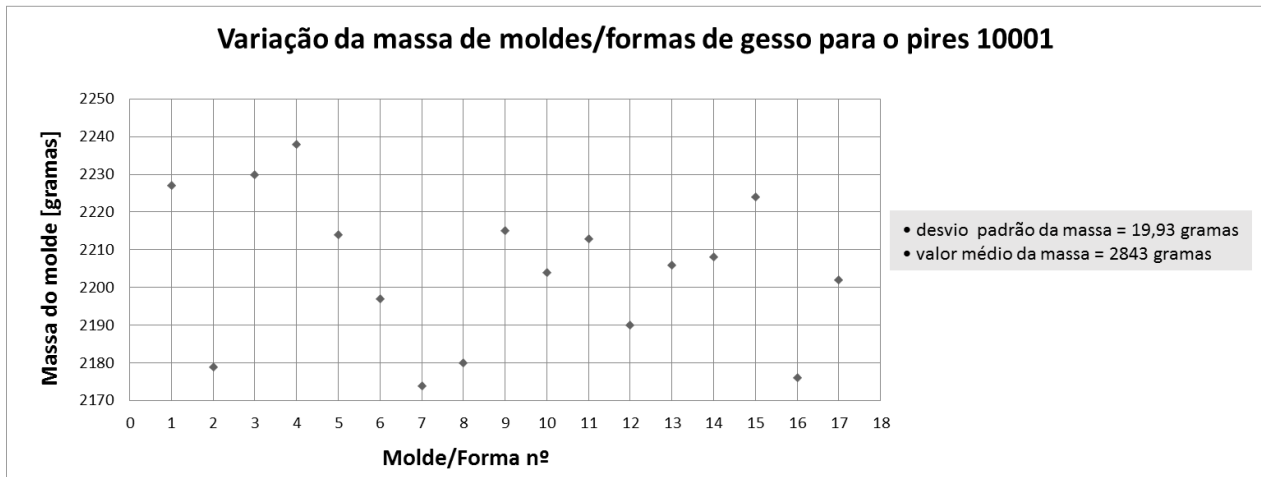


Figura 135 - Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para o pires 10001.

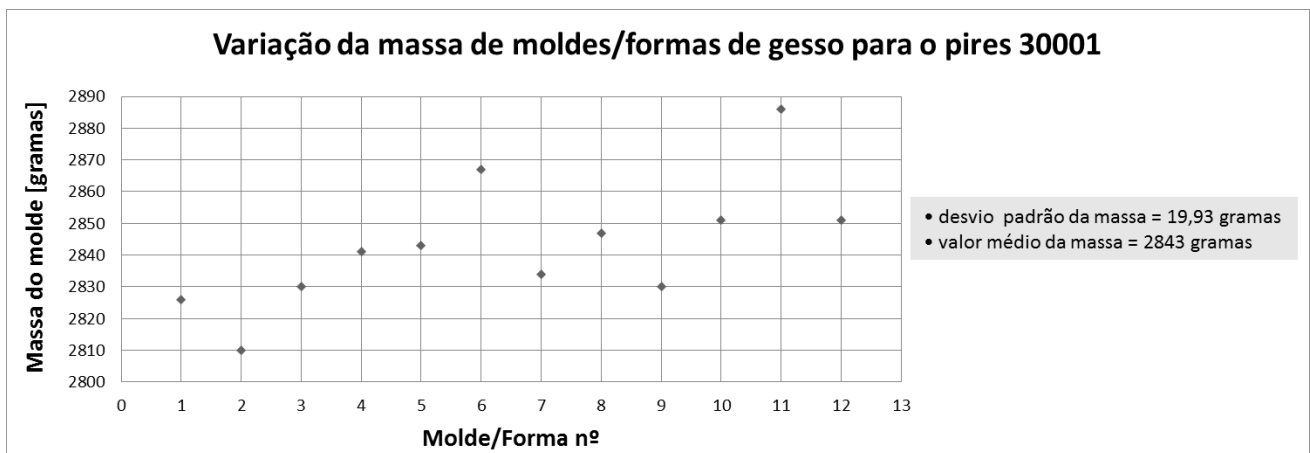


Figura 137 - Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para o pires 30001.

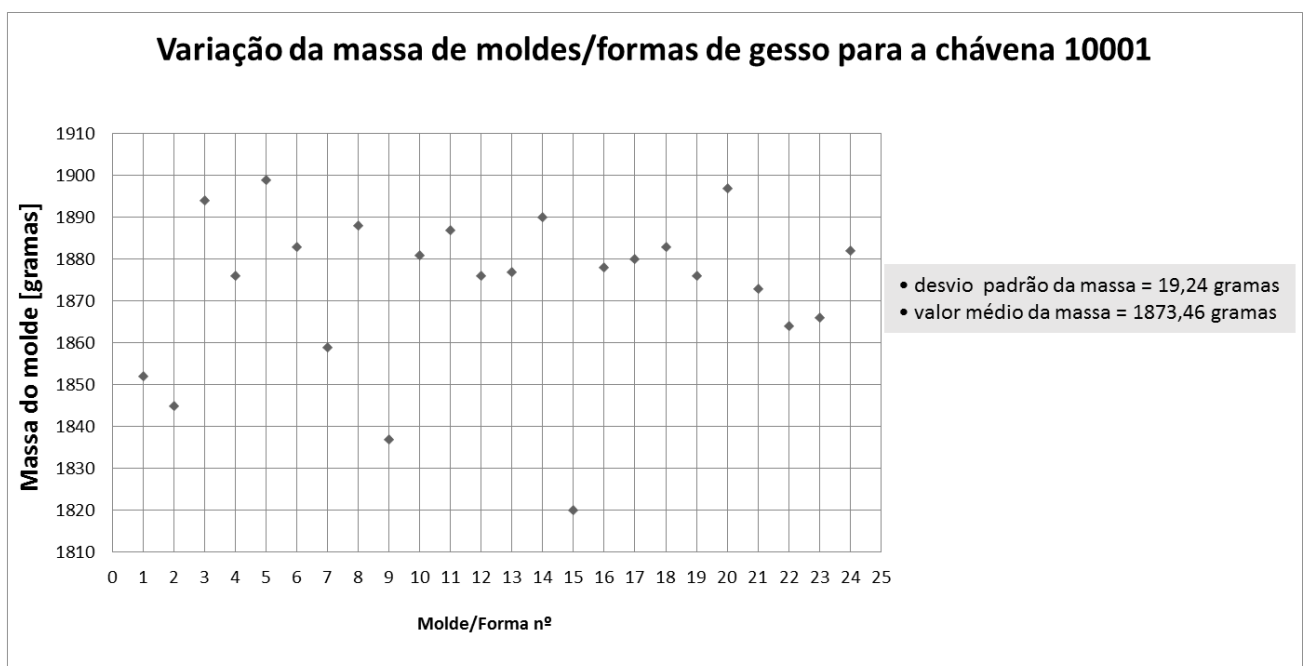


Figura 136 – Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para a chávena 10001.

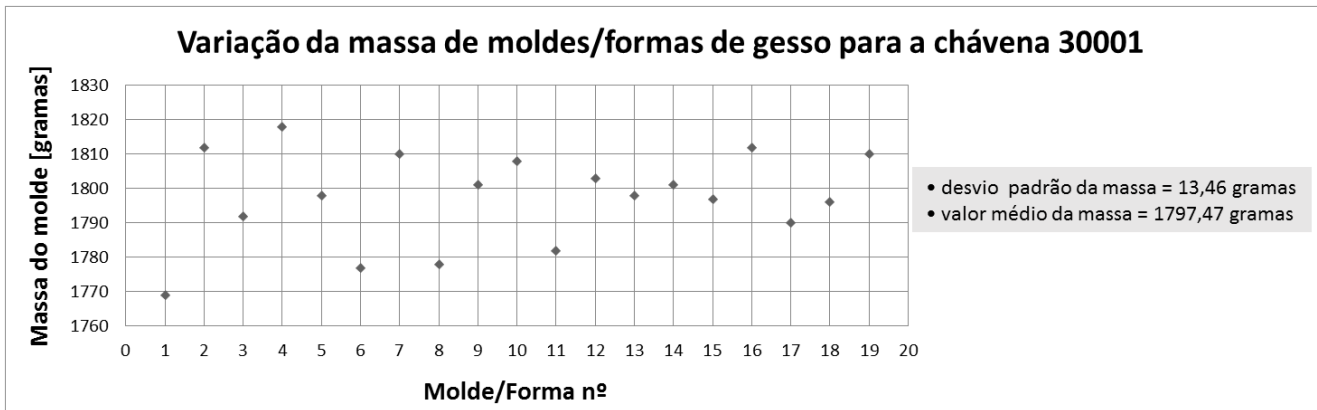


Figura 138 - Gráfico que representa a variação da massa dos moldes/formas de gesso para a chávena 30001.

No caso das formas de gesso, os desvios de massas encontrados nunca foram superiores a 20 gramas. Valor adequado, tendo em conta a massa das respetivas formas.

#### 6.1.7 Determinação da percentagem de humidade de peças

No que diz respeito à análise da percentagem de humidade das peças, realizou-se este ensaio em vários estágios da produção das mesmas.

Iniciou-se o teste, com a verificação da humidade presente nas peças, no instante imediatamente a seguir à conformação das mesmas (pirees e chávenas) na respectiva *roller* (Figura 139 e Figura 140).

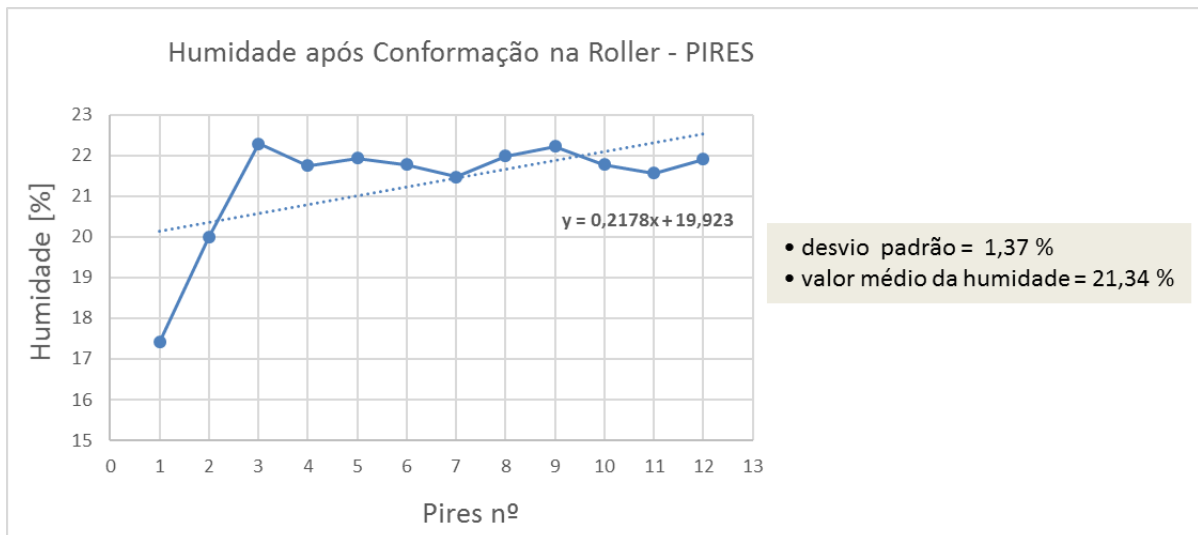


Figura 139 - Gráfico que representa a humidade dos pires, na etapa de conformação dos mesmos.

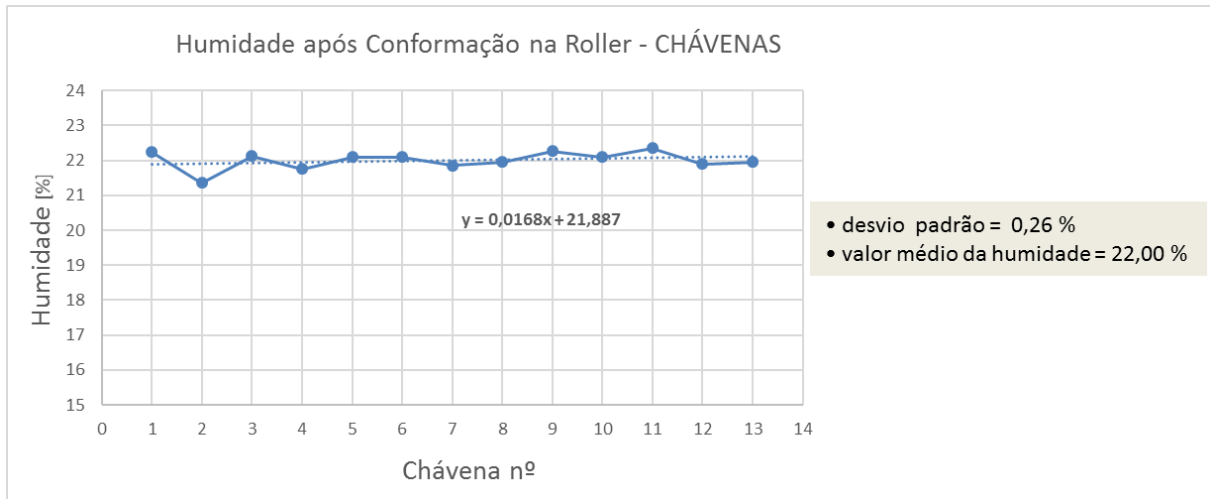


Figura 140 - Gráfico que representa a humidade das chávenas, na etapa de conformação das mesmas.

Após a análise dos gráficos presentes nas Figura 139 e Figura 140, concluiu-se que os valores apresentados são esperados, uma vez que a pasta entra na máquina (extrusora) com percentagens de humidade a rondar os 22 %, e a menos do calor fornecido pela cabeça de conformação (residual), as peças (pirees e chávenas) mantêm os mesmos níveis de humidade, onde os valores médios rondam os 21-22%.

De seguida, estudou-se a evolução da humidade nas peças à saída do secador da roller (já depois de conformadas, mas antes de sofrerem acabamento). Procedeu-se ao ensaio de pirees e chávenas, cujos resultados se encontram expostos na Figura 141 e na Figura 142, respectivamente.

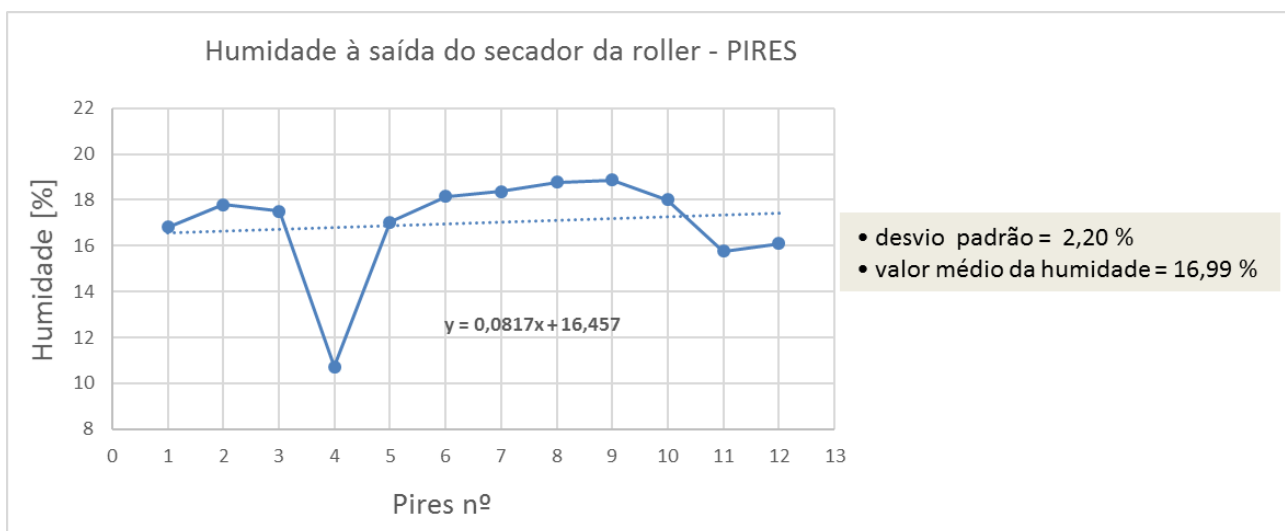


Figura 141 - Gráfico que representa a humidade dos pirees, à saída do secador da roller.

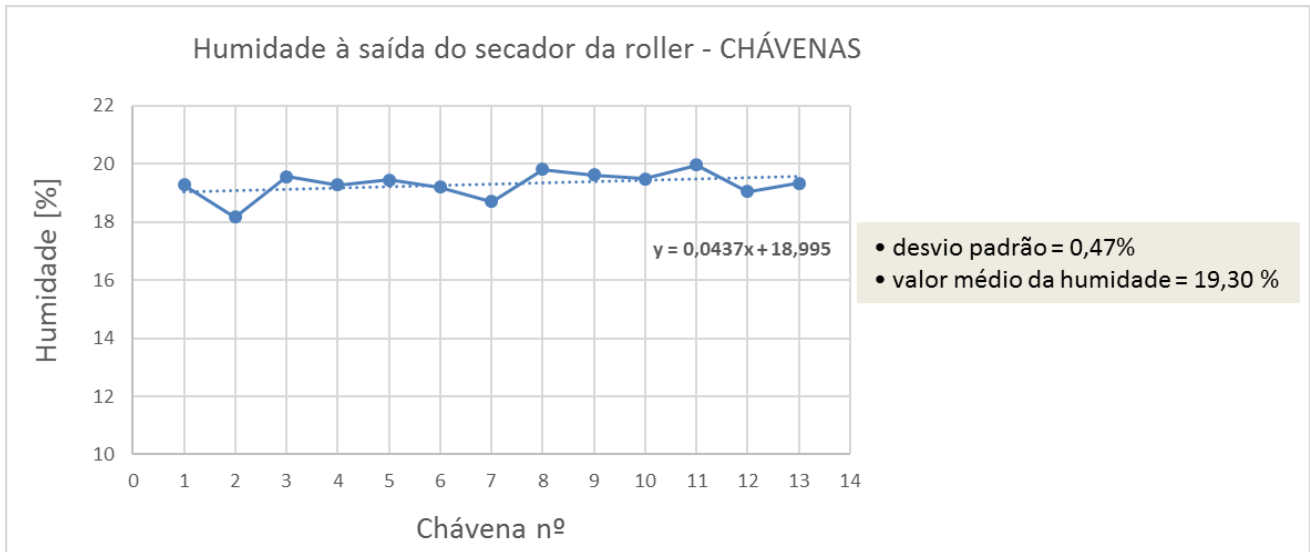


Figura 142 - Gráfico que representa a humidade das chávenas, à saída do secador da *roller*.

Expostos os resultados, verifica-se que pela passagem no secador de “couro” (integrado na *roller*), os pires perdem, aproximadamente, 4% de humidade. No caso das chávenas, estas perdem só, sensivelmente, 2,7%. Esta perda, inferior no caso das chávenas encontra-se relacionada com a humidade das asas.

Assim nas peças com asa (chávenas), foi feito o controlo da percentagem de humidade da asa (Figura 143 e Figura 144) e da chávena, no momento da colagem, por forma a garantir uma melhor aderência entre as duas partes, uma vez que ambas as partes deverão apresentar percentagens de humidade próximas.



Figura 143 - Asas já cortadas e prontas a serem coladas na *roller*.

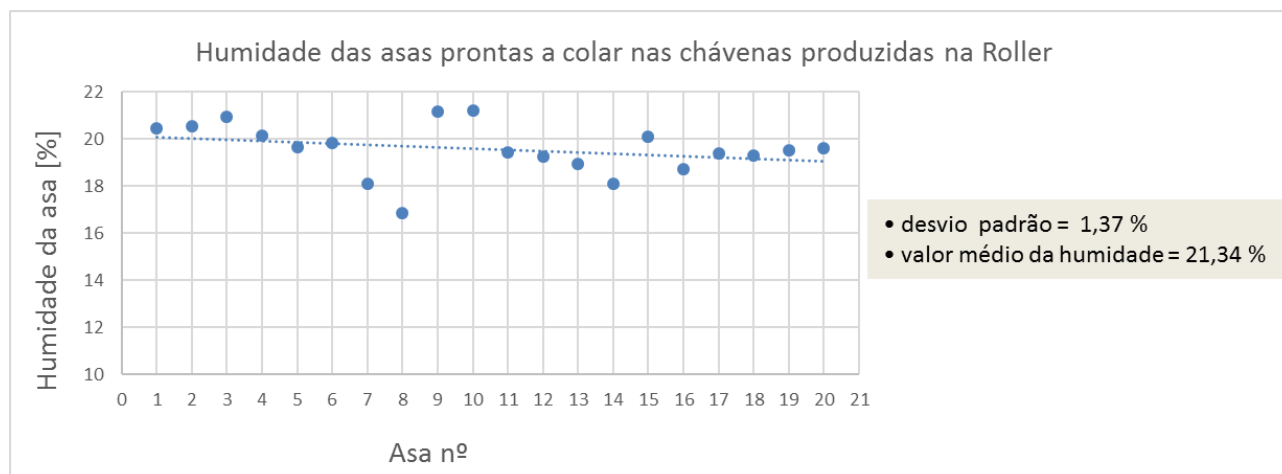


Figura 144 - Gráfico que representa a humidade das asas já cortadas e prontas a colar, nas chávenas, na *roller*.

Os valores de humidade presentes nas asas, no estágio de colagem das mesmas, rondam os 21,34%. Valor superior ao registado no caso das chávenas, que foi cerca de 19,3%, ou seja, uma diferença de 2%. O valor inferior de humidade das chávenas, justifica-se pelo facto de as chávenas têm de ser manuseadas, para colar as asas, e então, não é aconselhável que estas apresentem valores superiores de humidade, sob pena de deformar as peças.

De modo a ter uma melhor percepção dos resultados, procedeu-se à comparação dos valores de humidade de asas e chávenas para o mesmo modelo. Neste caso foram averiguados os modelos 10001 e 10020 (Figura 145 e Figura 146).

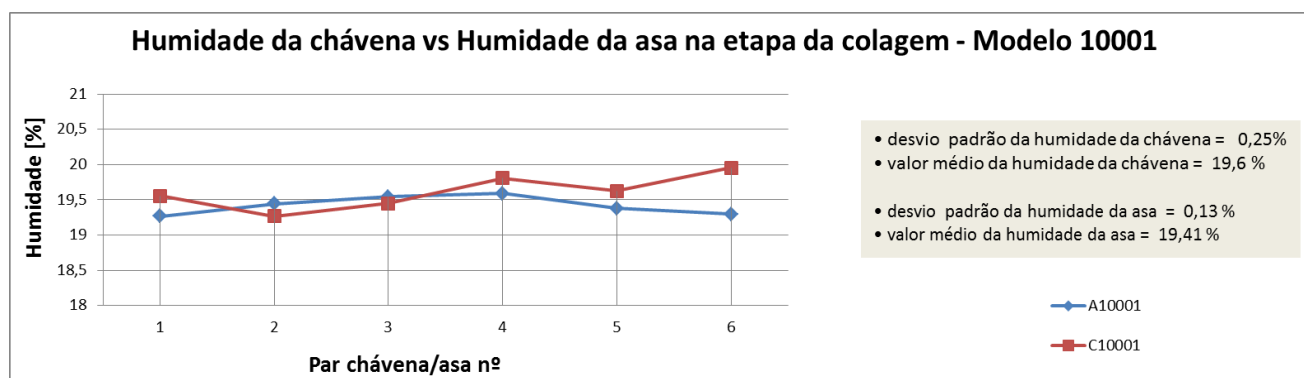


Figura 145 – Gráfico que representa a humidade do par chávena (C)/asa (A) 10001.

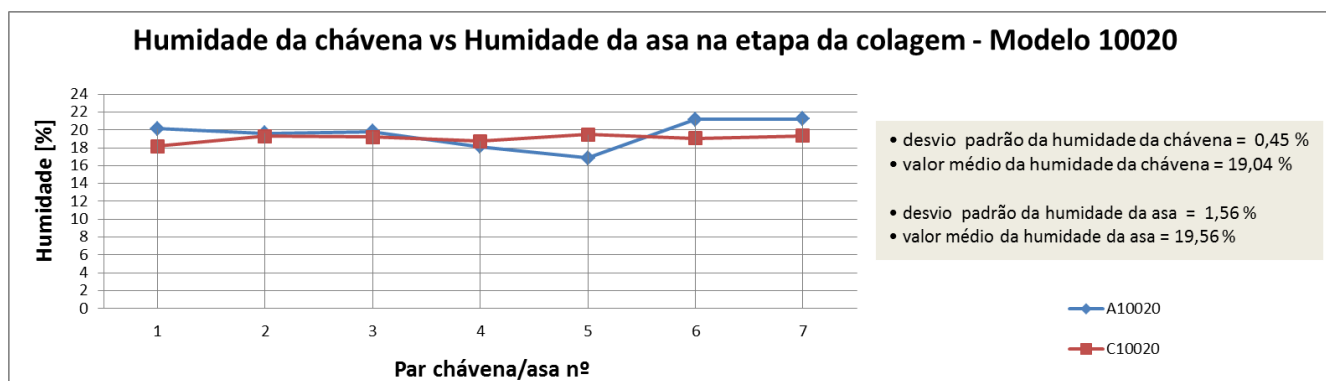


Figura 146 – Gráfico que representa a humidade do par chávena (C)/asa (A) 10020.

No caso do par chávena/asa 10001 e 10020, os valores de humidade encontram-se bastante próximos, pelo que os resultados se encontram de acordo com o esperado – humidades de asas e chávenas, relativamente, próximas, sob pena de durante os processos seguintes, devido ao diferencial de humidades, surgirem defeitos e possíveis descolagens.

Após secagem, e antes da sua entrada no forno de chacote, foi também efetuado o controlo da percentagem de humidade das peças (chávenas e pires) (Figura 147 e Figura 148).

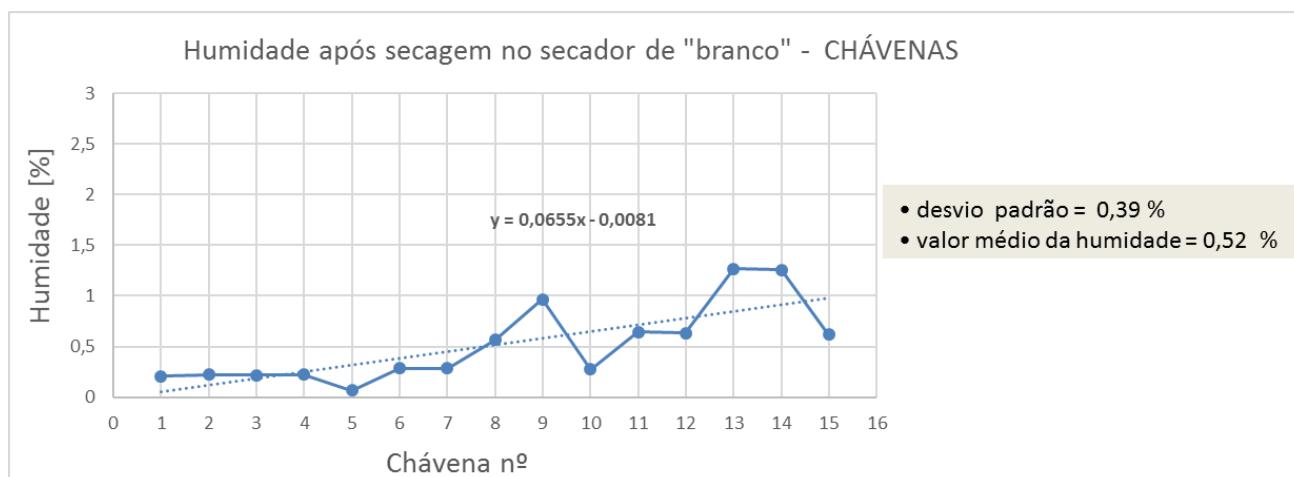


Figura 147 - Gráfico que representa a humidade após secagem das chávenas, no secador de "branco".

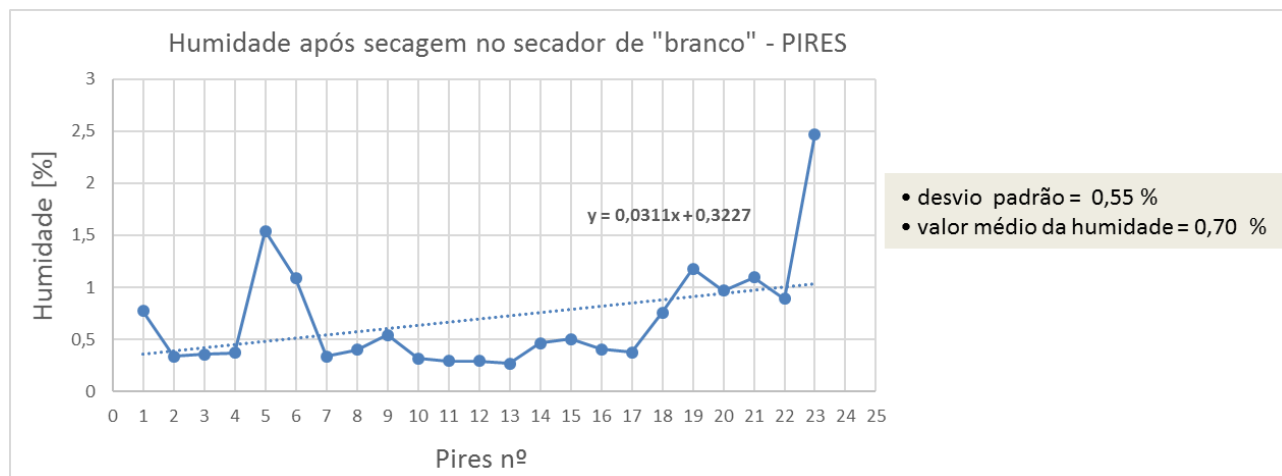


Figura 148 - Gráfico que representa a humidade após secagem dos pires, no secador de "branco".

De acordo com o mencionado no subcapítulo 3.6, durante a secagem no secador de "branco", a percentagem de humidade é reduzida para valores inferiores a 2%. No caso das chávenas, o valor médio da humidade registado foi de 0,52% e caso dos pires, o valor médio da humidade registado foi de 0,7%, ou seja, valores inferiores a 2% (valor indicado para as peças antes de sofrerem a chacotagem). Caso contrário, não se preserva a integridade física dos produtos - propriedades físicas - tornando-os mais susceptíveis ao aparecimento de fissuras e empenos durante a cozedura de chacotagem.



### 6.1.8 Determinação da percentagem de absorção de água de peças chacotadas

Na empresa Spiana, desconhecia-se a percentagem de absorção (porosidade) das peças após chacotagem. Assim, realizou-se este ensaio para averiguar a gama de valores da porosidade das peças chacotadas, em função da temperatura. Este ensaio teve como principal objetivo encontrar a temperatura máxima de chacotagem, uma vez que este valor não era conhecido. Desta forma, tenta-se justificar, indicando benefícios para uma estimativa de uma temperatura ideal de chacotagem, para obter percentagens de absorção de vidro a rondar os 20 – 21%, de forma uniforme, no interior do forno, na mesma cozedura, e resistência mecânica suficiente para posterior manuseio de peças.

Na fase inicial do projeto, adotou-se o procedimento de em cada cozedura que ocorria na fábrica, recolher algumas peças do forno de chacotagem e realizar o teste de absorção de água, de modo a conhecer a variação dos valores com a variação da temperatura, uma vez que esta não se mantinha constante de cozedura para cozedura.

Assim, após um número consistente de amostras, foi possível constatar que à medida que a temperatura da cozedura de chacotagem aumentava, a gama de porosidade das peças aumentava, tal como é visível na Figura 149.

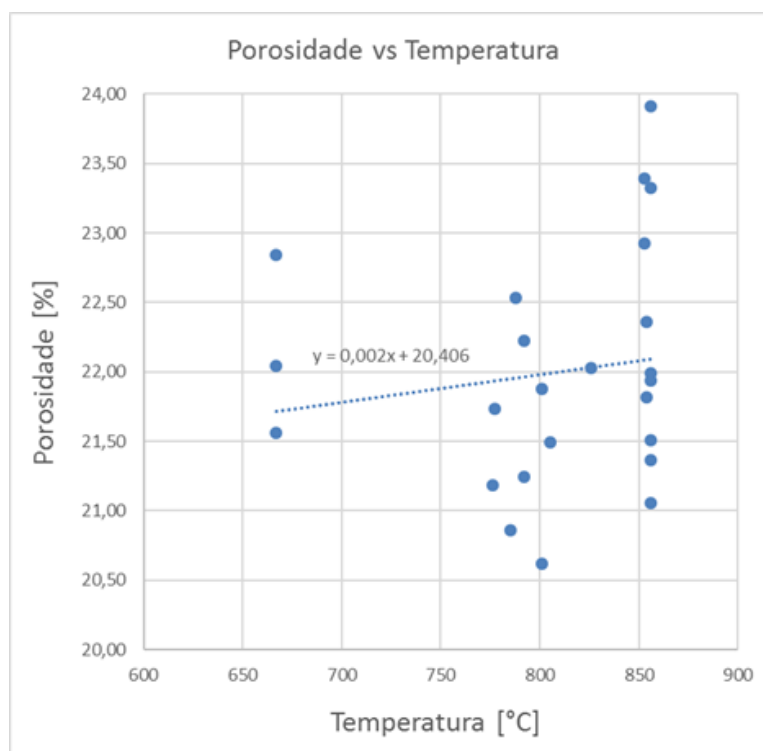


Figura 149 - Gráfico que retrata a evolução da absorção de água (porosidade) com a temperatura de chacotagem adotada na Spiana.

Assim, com o intuito de compreender esta variabilidade, realizou-se um ensaio experimental que consistiu em recolher quinze peças, sujeitas ao mesmo ciclo de secagem, e sujeitar as peças a cinco temperaturas diferentes na mufla do laboratório da empresa (Figura 150).



Figura 150 - Mufla utilizada para cozedura das amostras, nas diversas temperaturas.

Adotou-se como temperaturas de cozedura: 650°C, 750°C, 850°C, 950°C e 1050°C. Assim, iniciou-se uma cozedura com três peças do conjunto anterior, a uma destas temperaturas, e de forma igual para as restantes. A amostra consistiu em três peças por cozedura (Figura 151) e recorreu-se, também, a quatro modelos de peças (três tipos diferentes de pires e um modelo de chávena).



Figura 151 - Amostra constituída por três pires, prestes a iniciar um ciclo de cozedura na mufla.

Após a conclusão dos cinco ciclos, a cinco temperatura diferentes, recorrendo a quatro tipos de modelos de peças: Pires (P) 10001, P10002, P30002 e Chávena (C) 10001, foi possível construir o gráfico ilustrado na Figura 152.

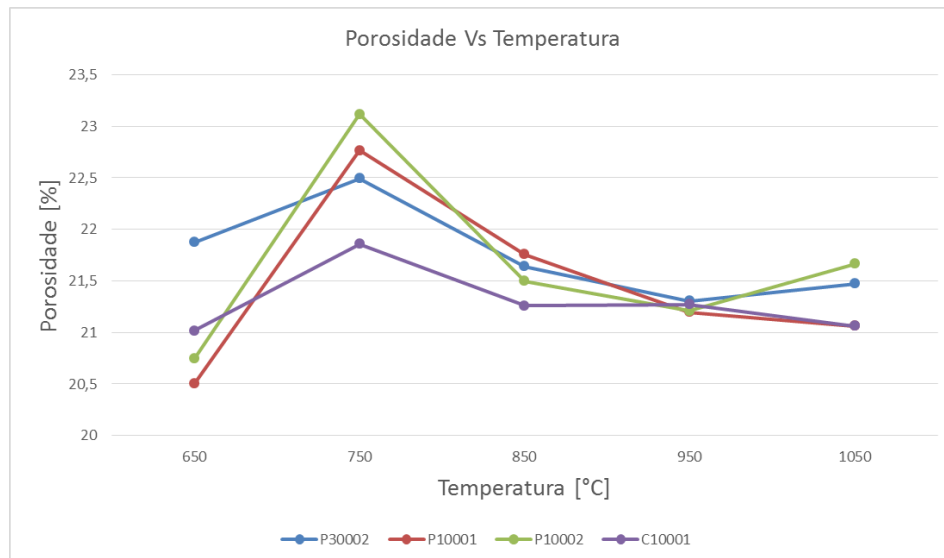


Figura 152 - Gráfico que retrata a evolução da porosidade (absorção de água) com a temperatura.

De acordo com a Figura 152, é possível constatar que a porosidade na temperatura dos 750°C obtém o valor máximo, isto deve-se a transformações físicas e químicas relevantes da argila, o que a torna mais porosa, tal como foi referido no subcapítulo 3.9. Por outro lado, apartir desta temperatura, a tendência que a porosidade assume é decrescente, até ao valor mínimo de 950°C. Num processo de bicozedura, é de todo interessante que todas as transformações importantes que ocorrem na pasta se processem todas na cozedura de chacotagem, de modo a evitar futuros defeitos nas peças.

Para clarificar estes dados, surge a necessidade de recorrer à análise dilatométrica e térmica (termo-gravimétrica e térmica diferencial) da pasta usada na Spiana, PORALT 10EX, de modo a identificar as transformações físicas e químicas que ocorrem na pasta, com o aumento da temperatura, assim como os valores de perda de massa ao longo da cozedura. Esta análise irá ser discutida no subcapítulo 6.1.9 e 6.1.10.

#### ○ Curiosidade

Durante a realização do ensaio de absorção de água nas peças chacotadas, constatou-se que existia variabilidade de massas de chacotagem dentro dos mesmos modelos de peças. Assim, procurou-se averiguar se esta variabilidade interferia na absorção das mesmas peças, surgindo os gráficos representados na Figura 153, Figura 154, Figura 155 e Figura 156.

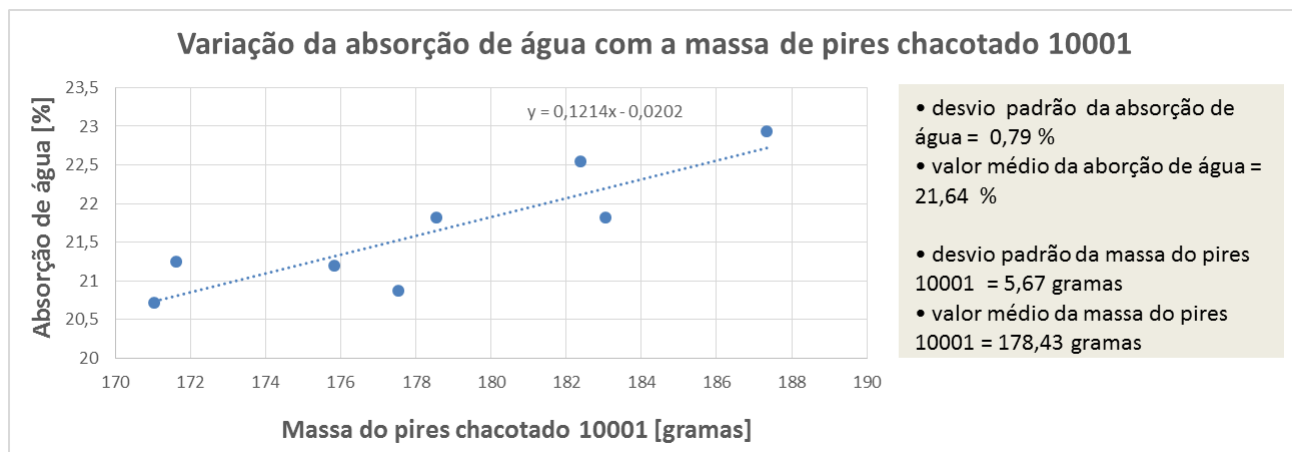


Figura 153 – Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa de pires chacotado do modelo 10001.

Da análise dos resultados do gráfico da Figura 153, verifica-se que à medida que aumenta a massa de chacotagem dos pires 10001, absorção de água (porosidade) aumenta. Tal facto ocorre, pois com o aumento de massa, existe mais matéria, maior número de grãos e poros (espaços entre grãos) o que aumenta a porosidade.

Na amostra ensaiada, a diferença entre a massa máxima detetada e a massa mínima é de 16,3 gramas.

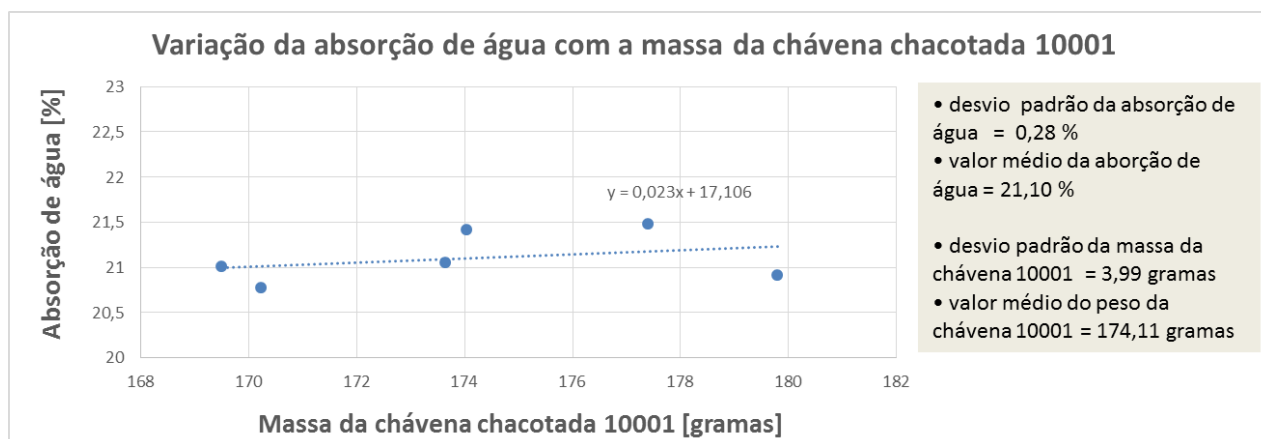


Figura 154 - Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa da chávena chacotada, modelo 10001.

Da análise dos resultados do gráfico da Figura 154, verifica-se que à medida que aumenta a massa de chacotagem da chávena 10001, absorção de água (porosidade) aumenta.

A diferença entre a massa máxima e mínima foi de 10,3 gramas.

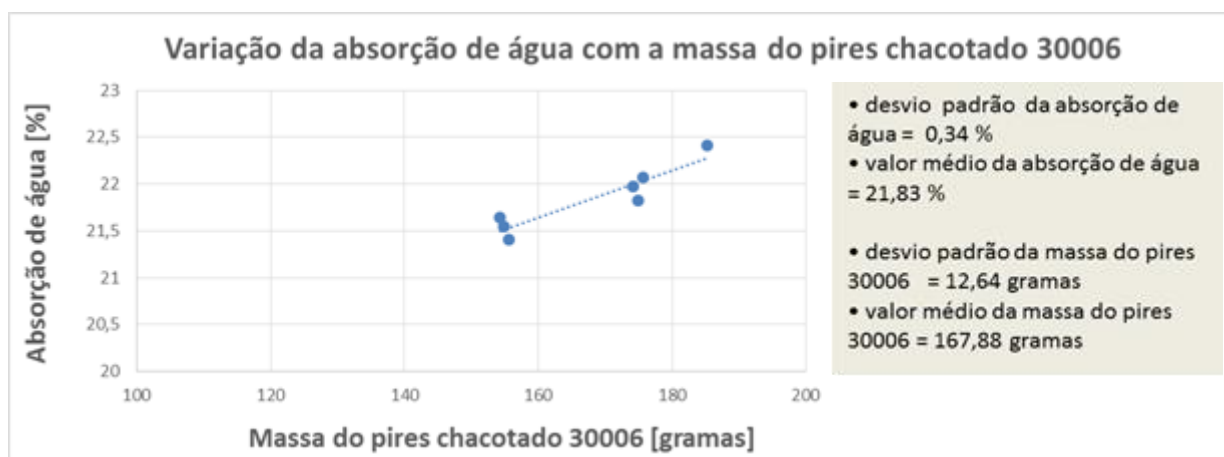


Figura 155 - Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa do pires chacoatado, modelo 30006.

De modo a tornar os resultados anteriores mais rigorosos e fiáveis, recolheu-se esta amostra de pires 30006, sujeitas à mesma cozedura e temperatura (870°C) de chacoatagem. De modo a eliminar a variável: temperatura.

E, novamente, da análise dos resultados do gráfico da Figura 155, verifica-se que à medida que aumenta a massa de chacoatagem do pires 30006, a absorção de água (porosidade) aumenta.

A diferença entre a massa máxima e mínima foi de 31 gramas.

Analisando, por fim, numa perspetiva global, ou seja, colocando no mesmo gráfico (Figura 156) a relação entre a massa da peça e a absorção da mesma, verifica-se, novamente, uma tendência crescente. Quanto maior a massa do corpo/peça, maior será a absorção de água do mesmo.

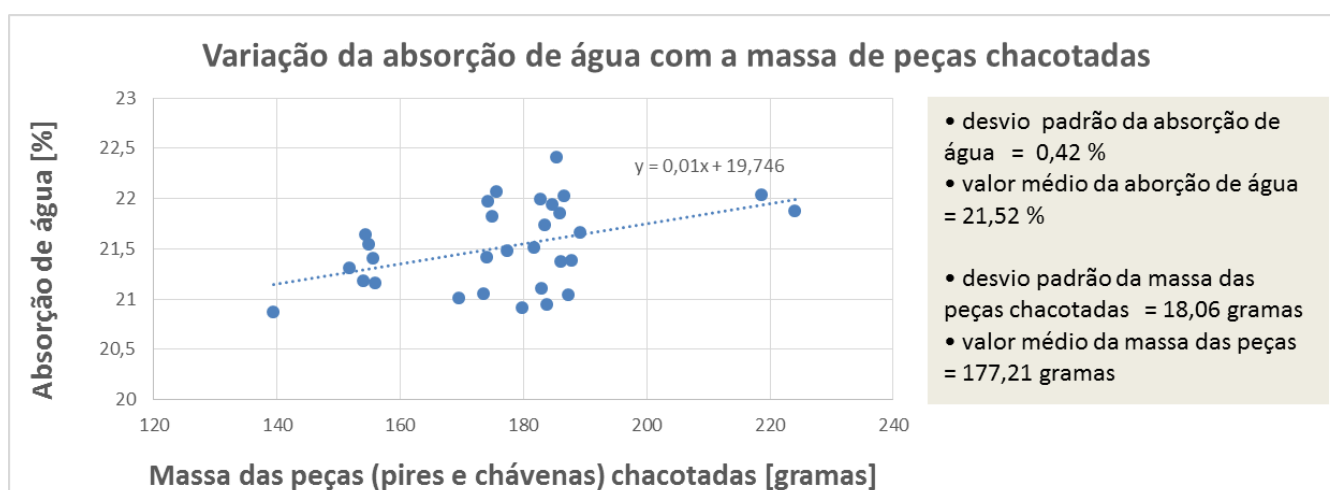


Figura 156 - Gráfico que representa a variação da absorção de água com a massa de peças chacoatadas, vários modelos de peças.

### 6.1.9 Análise térmica dilatométrica

Esta análise foi feita pelo fornecedor de pasta - Mota Pasta e indica-se na Figura 157 e Figura 158.

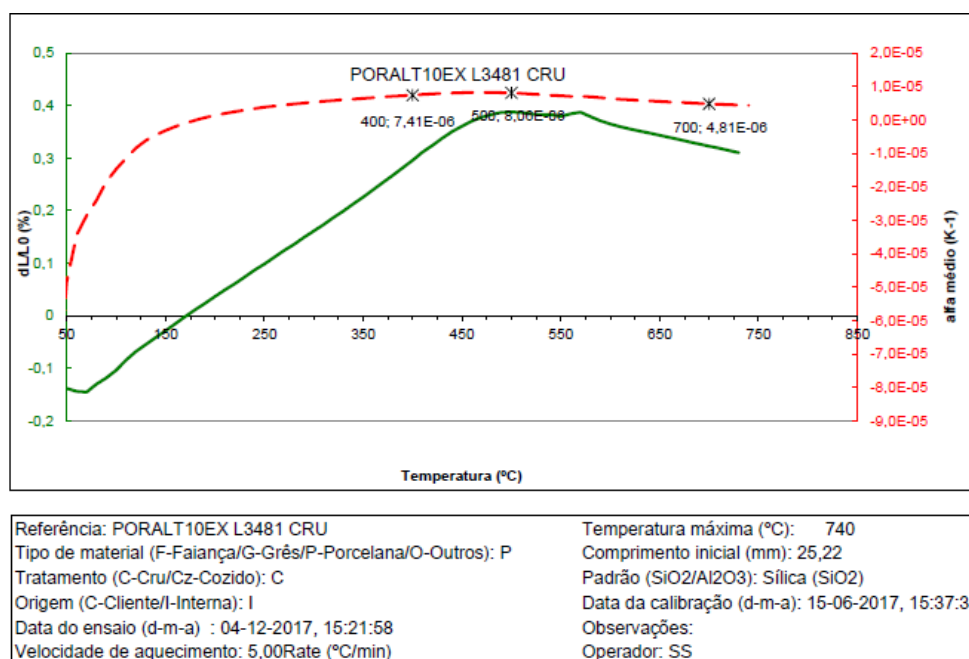


Figura 157 - Análise dilatométrica da pasta Poralt 10 EX utilizada na Spiana [47].

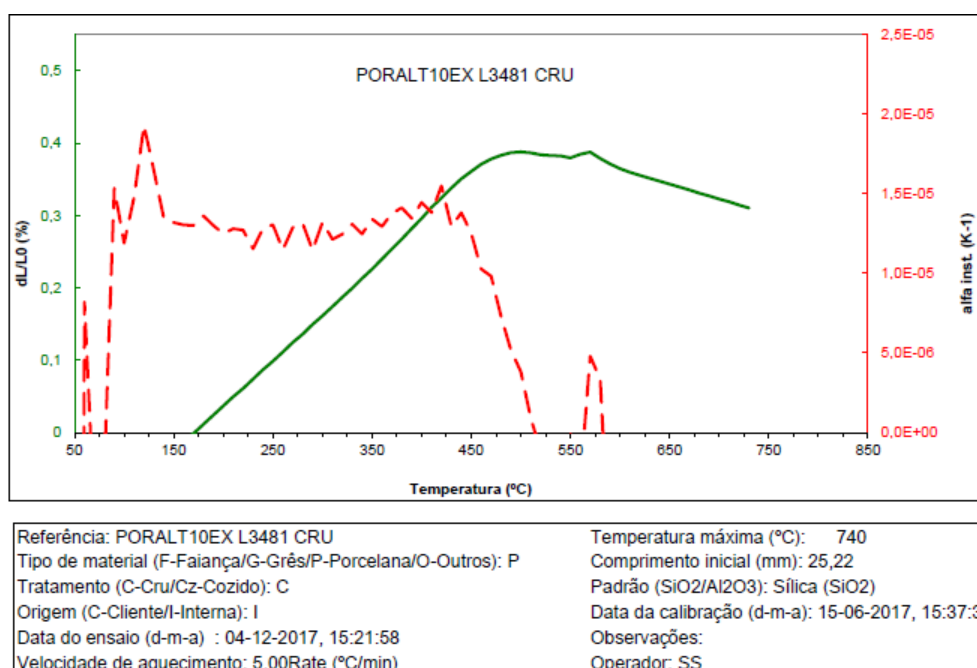


Figura 158 - Análise dilatométrica da pasta Poralt 10 EX utilizada na Spiana [47].

As curvas dilatométricas apresentam um aumento gradual da dilatação linear, verificando-se uma rápida contração a partir de 600 °C de temperatura. Esta rápida contração coincide com o início dos processos de sinterização e vitrificação a que correspondem rearranjos das partículas dos minerais argilosos após rotura da sua ordem estrutural e consequente amorfização.

Relativamente à temperatura crítica de 573 °C à qual ocorre a inversão do quartzo, que passa de quartzo  $\alpha$  para quartzo  $\beta$ , é possível verificar que durante o aquecimento não ocorre uma expansão significativa.

No que toca às retrações, a oscilação de volume poderia estar associada à libertação de água zeolítica associada a minerais argilosos do grupo das esmectites, embora o referido mineral não esteja presente na análise mineralógica, e à desidratação dos hidróxidos de ferro. Já as dilatações ocorrem devido à resposta natural do corpo cerâmico ao aumento da temperatura.

A partir de 300 °C regista-se uma dilatação progressiva e considerável até 500 °C, temperatura à qual ocorre a passagem de quartzo  $\alpha$  para quartzo  $\beta$ . Posteriormente regista-se uma ligeira estabilização entre 500 °C e 600 °C. Este patamar de estabilização está relacionado com uma composição fortemente íltica das matérias-primas e com a dificuldade de evolução da água estrutural que se apresenta fortemente ligada, ou em solvatação com os catiões intercalares (Na, K, Ca e Mg).

Após a estabilização ocorre uma ligeira retração do corpo cerâmico até 650 °C. De seguida, ocorre uma rápida e brusca retração, coincidindo com a sinterização e o consequente rearranjo estrutural das partículas.

#### 6.1.10 Análise térmica simultânea

De modo a dar seguimento ao estudo da cozedura de chacotagem, foi necessário recorrer à análise térmica simultânea (Figura 159).

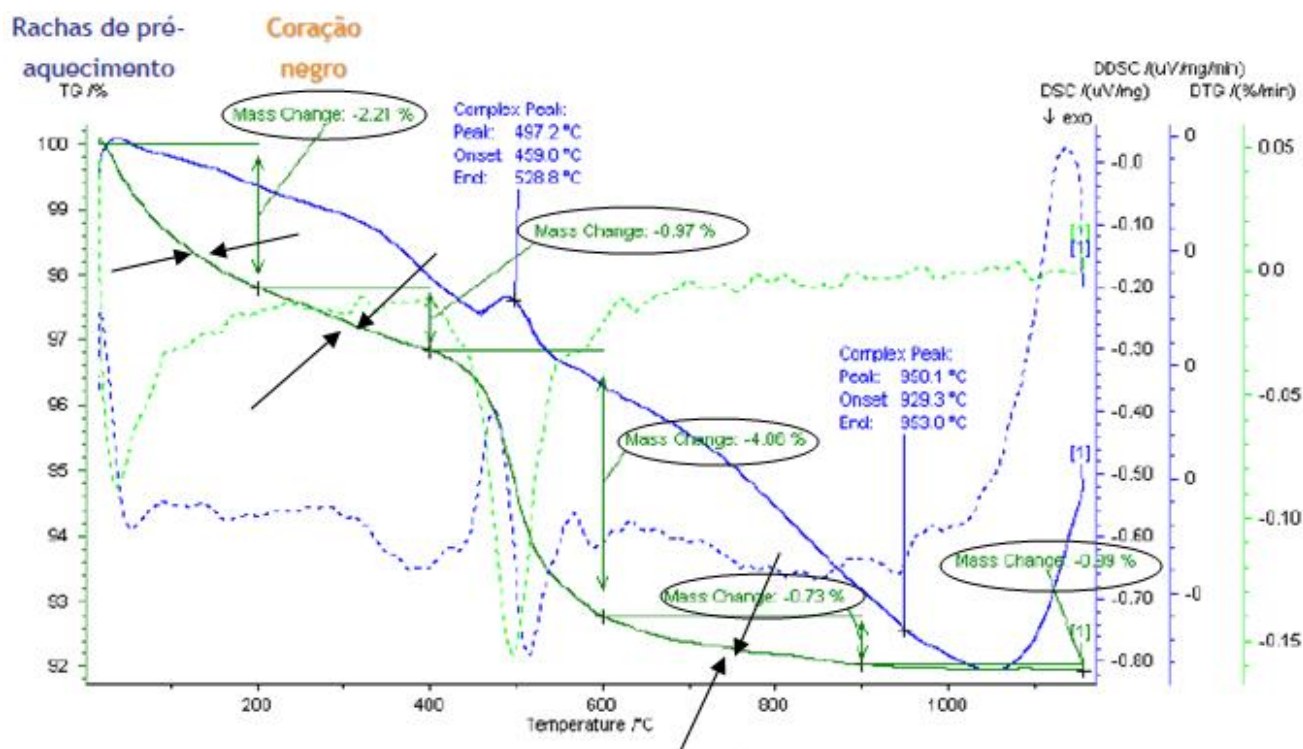


Figura 159 - Análise térmica simultânea da pasta, onde está localizada com o auxílio de setas, a curva referente a análise térmica diferencial, que ilustra a perda de massa da pasta ao longo da temperatura [44].

Através da análise desta curva, é possível observar que até aos 200°C, a perda de massa da pasta é de 2,21%, dos 200°C aos 400°C a perda é de 0,97%, dos 400°C aos 600°C a pasta perde 4,06% da sua massa (valor elevado devido a nesta zona ocorrer a



inversão do quartzo - 573°C), dos 600°C aos 900°C a perda é de 0,73% e finalmente dos 900°C até ao final da cozedura, a pasta ainda perde 0,99% da sua massa.

Assim, para efeitos de cozedura de chacotagem, era aconselhado tomar como valor de referência para temperatura máxima de chacotagem, o valor de 900°C, pois a partir desse valor a perda de massa é praticamente residual e as transformações mais importantes já cessaram praticamente (observa-se pelo declive da curva ser quase zero a partir dos 900°C).

Quanto mais elevada for a temperatura de cozedura, menor será a porosidade aberta do suporte e melhor será a maturação química do suporte. O aumento do ciclo de cozedura permite também um maior tempo de maturação do corpo cerâmico [48].

## 6.2 Ensaio de reologia dos vidrados

A fim de estudar a evolução dos valores da densidade e viscosidade do vidrado, durante, aproximadamente, um mês, diariamente, realizaram-se medições destes parâmetros. Posteriormente construíram-se gráficos (cartas de controlo). Esta ferramenta de qualidade tem como objetivo, verificar se o processo está sob controlo ao longo do tempo.

As causas da variabilidade podem ser normais - inerente ao processo - ou especiais - variáveis esporádicas e localizadas - que têm de ser verificadas (mão-de-obra, manutenção, ambiente, matéria-prima e desgaste).

O processo diz-se sob controlo quando as causas especiais da variabilidade são eliminadas e apenas existem causas normais.

Numa carta de controlo (Figura 160) consta a variabilidade normal, valor central de ajustamento e a continuidade da variabilidade.

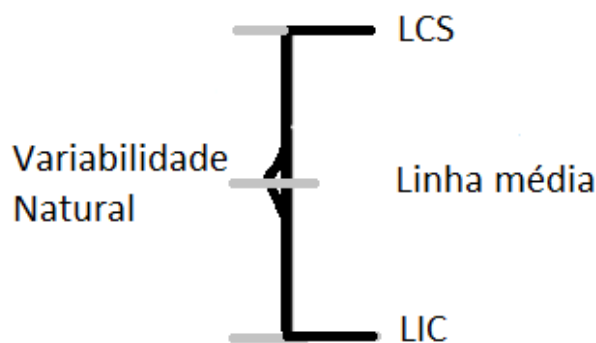


Figura 160 - Elementos de uma carta de controlo - LSC Limite Superior de Controlo (limite máximo), LIC - Limite Inferior de Controlo (limite mínimo).

As cartas de controlo têm como vantagens, a sua simplicidade, o que permite a utilização pelo operador. Este sabe se deve ou não intervir no processo (Tabela 8). É possível prever o comportamento do processo se estiver dentro dos limites de controlo. As cartas de controlo são uma boa ferramenta no processo de melhoria da qualidade. Reduzem a variabilidade normal, permitem a utilização de uma linguagem comum (entre turnos, entre colaboradores, com fornecedores e clientes). Permite ainda distinguir entre necessidade de ação imediata (pelo operador), ou uma ação planeada a médio prazo (com acordo e orientação da direção) - programa de melhoria [9].

Tabela 8 - Respostas dadas pelas cartas de controlo [9].

Dúvidas	Respostas dadas pelas Cartas de Controlo
Quando tomar a ação corretiva?	Quando alguma variável está fora dos padrões
Tipo de ação corretiva a tomar?	Os padrões nas cartas podem indicar as causas dos problemas e sugerir a ação corretiva adequada
Quando deixar o processo decorrer por si?	A variação é parte do processo. Indica quando a variabilidade é normal e não são necessárias ações corretivas
Capacidade do processo?	Permite estimular a capacidade do processo
Melhoria da qualidade?	Ponto de partida e sugere a medida para programa de melhoria contínua. Fornece informação sobre que planos de melhoria devem ser realizados

### 6.2.1 Determinação da densidade de vidrados

Ao fim de, aproximadamente, um mês de medições à densidade do vidrado no carrinho de vidragem das chávenas e no carrinho que contém o vidrado que é aplicado aos pires, surgem os gráficos presentes na Figura 161 e Figura 162, respetivamente.

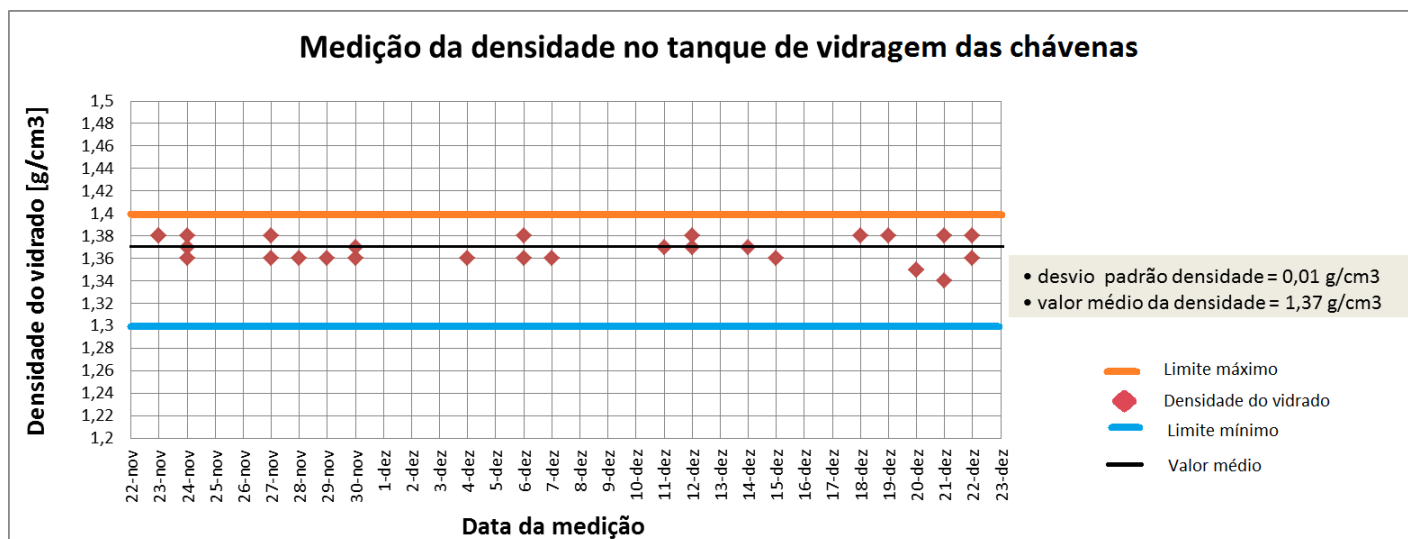


Figura 161 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da densidade ao carrinho de vidragem das chávenas.

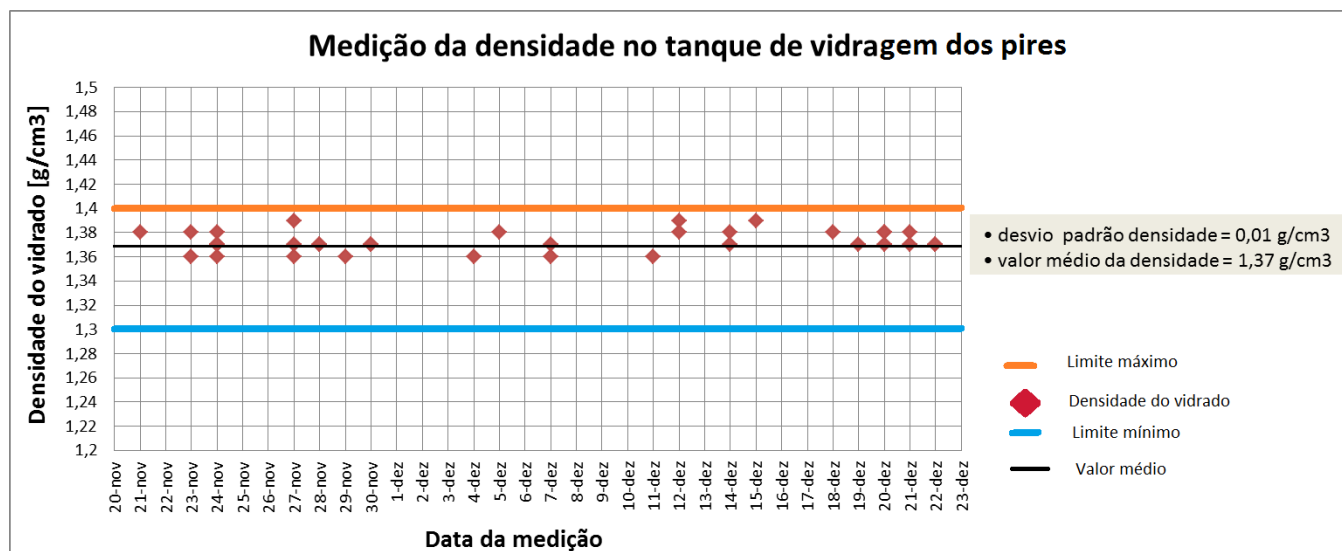


Figura 162 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da densidade ao carrinho de vidragem dos pires.

No caso dos registos obtidos é possível constatar que o valor de densidade, quando medido, esteve sempre dentro dos valores adequados. No entanto, às vezes, no início da manhã, antes de iniciarem as tarefas, os funcionários ao fazerem uma medição, se verificarem que o valor da densidade se encontra fora dos limites de controlo (limite mínimo: 1,3 g/cm<sup>3</sup>; limite máximo: 1,4 g/cm<sup>3</sup>), seguem o procedimento indicado na Tabela 9.

Tabela 9 - Procedimento para corrigir a densidade.

Ocorrência	Procedimento para acertar a densidade do vidro
<b>Densidade &gt; Máximo</b>	Adicionar água ao vidro até chegar a valores compreendidos entre os limites máximo e mínimo
<b>Densidade &lt; Mínimo</b>	Adicionar vidro de maior densidade até chegar a valores compreendidos entre os limites máximo e mínimo

### 6.2.2 Determinação da fluidez de vidrados

Ao fim de, aproximadamente, um mês de medições à viscosidade do vidroado no carrinho de vidragem das chávenas e no carrinho que contém o vidroado que é aplicado aos pires, surgem os gráficos presentes na Figura 163 e Figura 164, respetivamente.

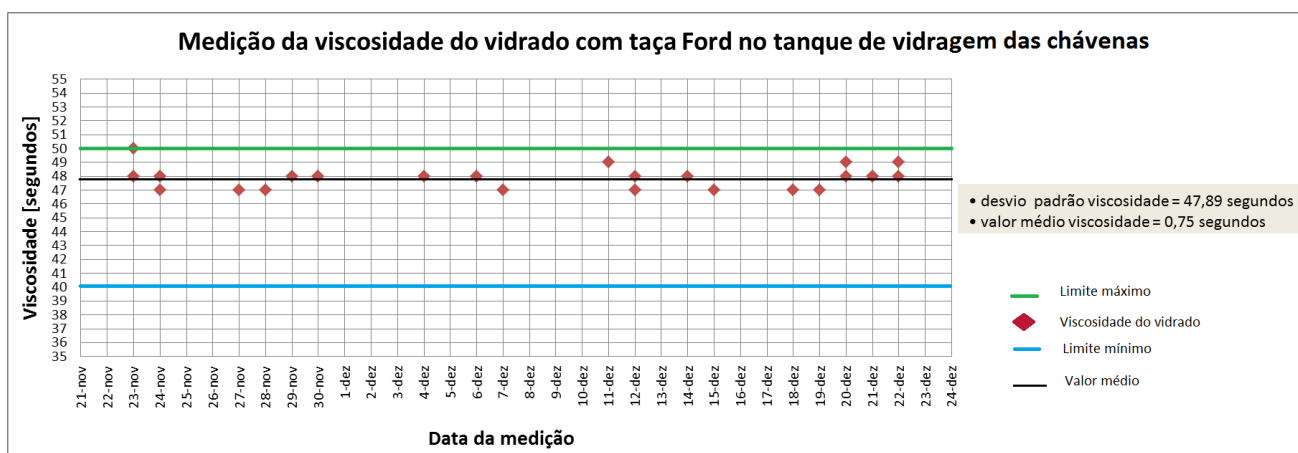


Figura 163 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da viscosidade ao carrinho de vidragem das chávenas.

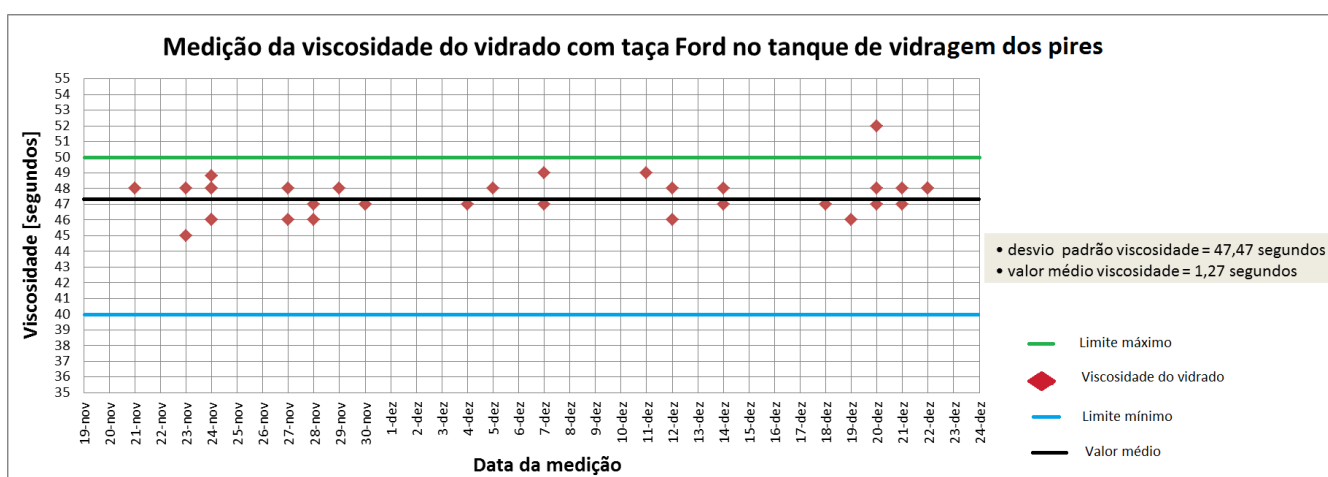


Figura 164 - Gráfico que representa a evolução dos resultados da medição da viscosidade ao carrinho de vidragem dos pires.

No caso dos registos obtidos, é possível constatar que o valor de viscosidade medido esteve sempre dentro dos valores adequados, à exceção do dia 23 de Novembro no carrinho de vidragem das chávenas, em que o valor da viscosidade medido coincidiu com o valor do limite máximo (50 segundos) e do dia 20 de Dezembro, em que a primeira medição ultrapassou o limite máximo.

Em ambas as situações, os funcionários adicionaram desfloculante – tripolifosfato de sódio – a fim de diminuir a viscosidade do vidro. Após aguardar algum tempo depois da adição do desfloculante, voltou-se a medir a viscosidade, passando esta para valores inferiores ao limite máximo.

Na preparação dos vidrados utilizam-se aditivos para controlar as características reológicas da suspensão, por forma a garantir as melhores condições de aplicação e a uniformidade da camada de vidro aplicado sobre as peças. Os aditivos mais utilizados são desfloculantes (sendo os mais comuns o tripolifosfato de sódio e o hexametáfosfato de sódio) [49]. Estes aditivos têm a função de ajustar a viscosidade da suspensão de vidro e melhorar a ligação entre o vidro cru e o corpo cerâmico.

No entanto, os valores, no geral, encontram-se altos, face ao valor mínimo (40 segundos). Valores altos da viscosidade podem conduzir a defeitos na peça vidrada (depois de cozida), como é o caso de peças que apresentam “picado” na superfície da peça (Figura 165).



Figura 165 - Superfície do vidrado numa peça, que apresenta o defeito "picado" [50].

Diz-se que o vidrado está picado quando apresenta pequenas marcas na sua superfície, tipo picadas de alfinete, pelo que este defeito também é conhecido como “marca de alfinete”. Aparece frequentemente em vidrados com viscosidades elevadas. Devido à alta viscosidade do vidrado, as crateras originadas por pequenas bolhas que rebentam não conseguem fechar, ficando abertas e com um aspecto de picadas de alfinete. As bolhas que originam este defeito têm como principal origem a libertação de gases resultantes das decomposições das matérias-primas, tanto do suporte como do vidrado [51].

Para evitar este tipo de defeitos, deve-se certificar que a superfície das peças não contém poeiras antes do processo de vidragem. Pode também ajustar-se a curva de cozedura, evitando os patamares de libertação de gases, pois a temperaturas em que o vidrado está muito viscoso dificilmente há libertação destes gases para a atmosfera, o que é mais fácil quando o vidrado está a uma temperatura mais elevada o que lhe confere uma viscosidade mais baixa. Pode ainda ser alterada a composição do vidrado para permitir que tenha uma viscosidade mais baixa ou que atinja valores de viscosidade ideais a temperaturas mais baixas, adicionando um desfloculante, por exemplo, tripolifosfato de sódio [52].

No que diz respeito à adição de desfloculante no vidrado, a fim de diminuir a viscosidade do mesmo, para ser feita uma desfloculação em segurança a nível industrial, deve ser primeiramente feita uma curva de desfloculação (Figura 166) onde se determina o máximo de desfloculante a adicionar sem que o vidrado flocule novamente devido à subida da força iónica do meio [43].

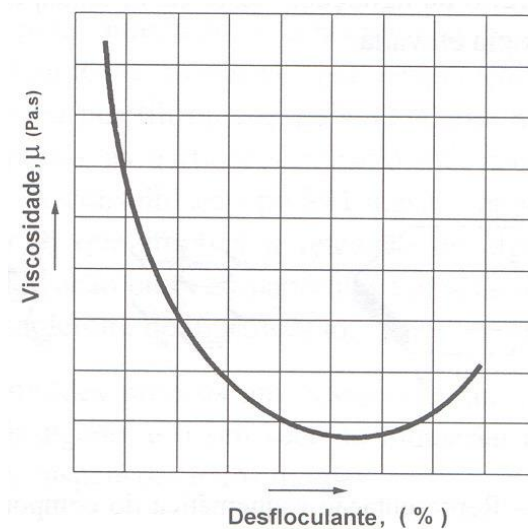


Figura 166 – Curva típica de desfloculação [43].

### 6.3 Lixo de acabamento

Como resultado do teste da limpeza, apresentam-se os gráficos presentes nas Figura 167 e Figura 168.

Na Figura 167 está representada a melhor situação do teste de limpeza efectuado, ou seja, onde foram incluídas nas peças conformes, peças que apresentavam defeito, mas em último caso (em caso de existir necessidade de satisfazer a procura) passavam para o cliente.

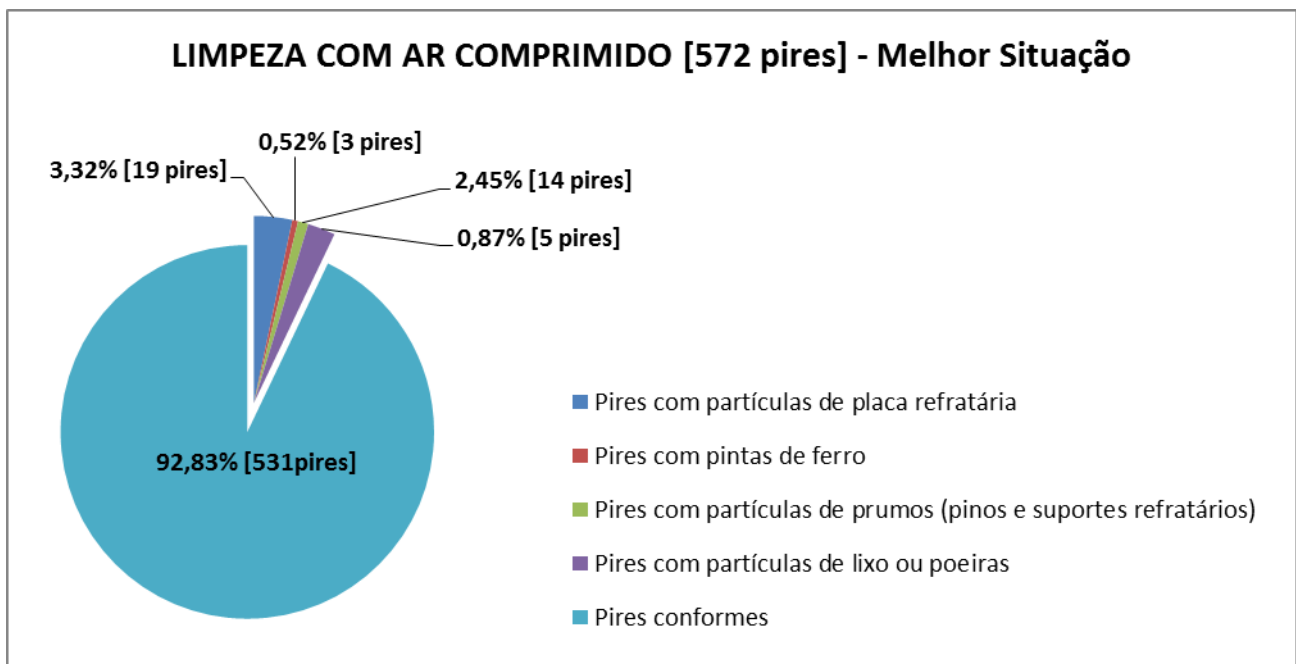


Figura 167 - Gráfico que representa a melhor situação da limpeza com ar comprimido a 572 pires do modelo 10001.

Nesta situação, em 572 pires, 5 apresentaram o defeito de conter lixo/poeiras, defeito que este ensaio pretendia averiguar.

Contudo, numa visão pessimista e de certa forma, mais rigorosa, surgem os dados apresentados na Figura 168.

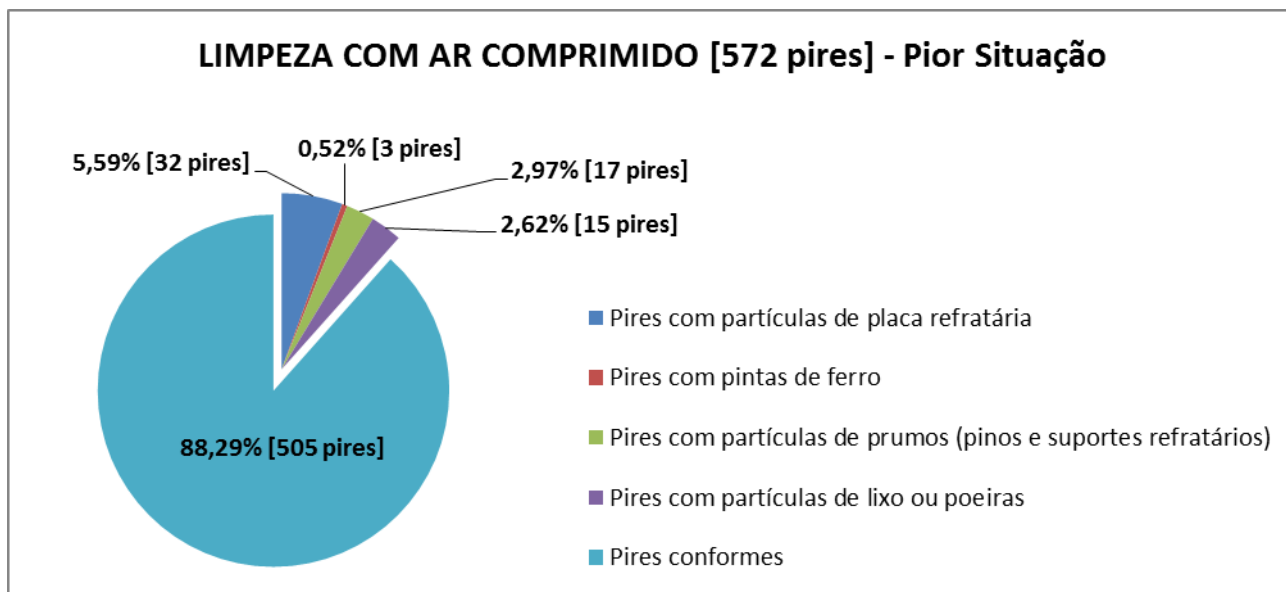


Figura 168 - Gráfico que representa a pior situação da limpeza com ar comprimido a 572 pires do modelo 10001.

De acordo com esta análise o número de peças cujo defeito era apresentar lixo subiu para 15 pires em 572, ou seja, cerca de 3%. Depois de analisar e discutir os resultados com a responsável de produção e com o director de produção, chegou-se à conclusão que o número de peças que ainda surgiam com lixo, mesmo após a limpeza com ar comprimido não justificava a sua intervenção na introdução de uma nova tarefa de produção (limpeza das peças), assim como os custos adicionais de tal introdução na produção.

Contudo, é de frisar que este ensaio não se realizou nas condições adequadas, uma vez que durante a limpeza dos pires com ar comprimido, não existia nenhum equipamento de aspiração de poeiras libertadas durante a limpeza, poeiras estas que poderiam contaminar peças já limpas e de certa forma, falsear os resultados obtidos. Para além disso, algumas partículas que originaram o defeito de “lixo” neste ensaio poderiam ter origem nas partículas presentes na suspensão de vidro. Estas partículas podem ser introduzidas nas suspensões de vidro, quando, por exemplo uma peça no momento de ser vidrada cai dentro da suspensão, podendo partir-se e originar várias partículas. De modo a contornar este problema, é adicionado um equipamento composto por um motor eléctrico e um filtro, cuja função é, através do motor eléctrico sugar a suspensão para o interior de um tubo que conduz o vidro para um filtro, de modo a reter partículas presentes no vidro e conduzindo o vidro limpo de novo ao carrinho de vidragem (Figura 169).





Figura 169 – Carrinho de vidragem com o conjunto motor elétrico e filtro acoplado.



## 7 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

### 7.1 Conclusões

O processo de integração em ambiente industrial originou um conhecimento mais detalhado do processo produtivo, mas também das relações entre a área de produção e outras áreas importantes no domínio da atividade empresarial, nomeadamente as relacionadas com temas como a segurança, qualidade e marketing. O acompanhamento feito, ao longo de alguns meses da atividade produtiva, revelou ainda a complexidade do quotidiano numa empresa, onde situações imprevistas podem provocar problemas de qualidade nos produtos, com consequências a diferentes níveis, nomeadamente no aumento de perdas por rejeição de peças defeituosas.

O trabalho teve como objetivo a redução do fabrico de produtos não-conformes, propondo medidas eficazes e eficientes para este resultado. Tratou-se de melhorias de equipamentos e de trabalho. Contudo, na produção, implementar melhorias demora um certo período de tempo para constatar as suas consequências.

A metodologia utilizada permitiu identificar, de maneira eficiente, as características de qualidade que deveriam ser monitorizadas, assim como os parâmetros do processo que mais a influenciavam e que, portanto, também deveriam ser controlados. Esta identificação foi feita a partir do conhecimento de algumas informações elementares como a quantidade produzida, a quantidade de refugo, entre outros. A avaliação realizada para investigar a estabilidade do processo, também se mostrou muito eficiente, tendo em vista que, através dela, foram identificadas várias causas especiais intervenientes no processo.

As técnicas selecionadas para serem utilizadas na análise estatística sobressaíram pela simplicidade e facilidade de manuseio, tendo em vista a sua efetiva utilização, mesmo após o término deste trabalho.

A monitorização da qualidade é um processo dinâmico e este trabalho foi apenas um ensaio inicial. Para que este realmente se consolide, várias análises precisam ainda de ser realizadas. Para conhecer ainda mais o processo, várias experimentações e estudos correlacionais podem ser realizados: determinação da contração linear e volumétrica na secagem e na queima; determinação da percentagem do resíduo ao peneiro da pasta e do vidrado, entre muitos outros.

Relativamente aos ensaios efetuados à pasta cerâmica (matéria-prima):

Na medição da dureza e determinação da humidade, constatou-se a existência de desvios entre o valor medido e o valor indicado pelo fornecedor. Contudo, é preciso ter em atenção o facto de a pasta, após ser recebida na Spiana, por vezes, fica alguns dias armazenada até ser utilizada. Este armazenamento altera as condições da pasta, nomeadamente a humidade (ou dureza). Pois, quando se abrem os fornos, no final das cozeduras, para retirar as peças, é expelido para o ambiente da fábrica grande quantidade de calor. Calor esse, que fará com que a humidade presente nas pastas armazenadas diminua e por conseguinte aumenta a dureza das mesmas. Verificou-se, ainda, que o lote mais estável, em termos de dureza da pasta é o lote 4431/17. Sendo importante num futuro próximo apostar mais neste lote em detrimento de outros

mais instáveis, como é o caso do lote 2451/17. Na determinação da perda ao rubro, o lote que mantém os valores mais estáveis é o lote 4431/17.

Relativamente aos ensaios efetuados ao gesso cerâmico (matéria-prima):

Constatou-se que nalgumas formas o valor da absorção de água foi inferior ao limite mínimo indicado pelo fornecedor. Estes valores são justificados pela deficiente secagem das formas, depois destas serem produzidas, que é refletido no excesso de massa dos mesmos. Relativamente à posição da forma durante a secagem, concluiu-se que na maioria dos pares de moldes, o molde cuja posição é estar com a abertura/cavidade voltada para cima, é o que apresenta maior capacidade de absorção de água. Isto indica, que existe uma não uniformidade de absorção de água dentro do mesmo par, pelo que seria desejável, durante o processo de secagem, trocar as posições de cada par de formas, de modo a uniformizar a absorção.

Relativamente às massas dos tarugos e peças:

No modelo de pires 10001, verificam-se desvios de massa consideráveis. Do conjunto chávena/pires, o elemento mais apreciado pelo cliente é a chávena. O pires, desde que não apresente defeitos visíveis, em termos de massa, o cliente não impõe grandes exigências. Por isso, é de todo interessante, manter a massa dos pires constante, a menos de pequenos desvios, de modo a poupar dinheiro no consumo de matéria-prima (pasta) que vai em excesso nos pires e não acrescenta em nada no valor do produto final. No que diz respeito ao modelo de pires 30001, a quantidade de pasta que vai em excesso em cada pires, é muito maior. Quanto maior a dimensão da peça, maior será a quantidade de pasta em excesso em cada pires.

No modelo de chávenas 10001, verifica-se que os desvios das massas, tanto nos tarugos como nas chávenas à saída do secador da roller, são menores. Comparando o modelo 10001 de chávena, que será acompanhada pelo pires 10001 para o cliente, a chávena apresenta desvios de massa, aproximadamente metade dos desvios verificados no pires 10001. Da mesma forma, verifica-se que no caso da chávena 30001, os desvios são muito inferiores aos desvios verificados para o pires 30001. Daqui se pode concluir que no caso das chávenas, o processo está mais controlado.

Relativamente às massas das formas/moldes de gesso:

Os desvios de massas encontrados nunca foram superiores a 20 gramas. Valor adequado, tendo em conta a massa das respetivas formas (aproximadamente 2000 gramas).

Relativamente à humidade de peças:

No estágio da conformação de peças concluiu-se que os valores apresentados são esperados, uma vez que a pasta entra na máquina (extrusora) com percentagens de humidade a rondar os 22 %, e a menos do calor fornecido pela cabeça de conformação (residual), as peças (pirees e chávenas) mantêm os mesmos níveis de humidade, onde os valores médios rondam os 21-22%. No estágio após secagem no secador da roller, verifica-se que pela passagem no secador de “couro” (integrado na roller), os pires perdem, aproximadamente, 4% de humidade. No caso das chávenas, estas perdem só, sensivelmente, 2,7%. Esta perda, inferior no caso das chávenas encontra-se relacionada com a humidade das asas. Durante a secagem no secador de “branco”, a percentagem de humidade é reduzida para valores inferiores a 2%. No caso das chávenas, o valor médio da humidade registado foi de 0,52% e caso dos pires, o valor médio da humidade registado foi de 0,7%, ou seja, valores inferiores a 2%

(valor indicado para as peças antes de sofrerem a chacotagem). Caso contrário, não se preserva a integridade física dos produtos - propriedades físicas - tornando-os mais susceptíveis ao aparecimento de fissuras e empenos durante a cozedura de chacotagem.

Relativamente à humidade das asas:

Os valores de humidade, no estágio de colagem das mesmas, rondam os 21,34%. Valor superior ao registado no caso das chávenas, que foi cerca de 19,3%, ou seja, uma diferença de 2%. O valor inferior de humidade das chávenas, justifica-se pelo facto de as chávenas têm de ser manuseadas, para colar as asas, e então, não é aconselhável que estas apresentem valores superiores de humidade, sob pena de deformar as peças.

Relativamente à comparação entre a humidade da chávena vs asa:

No caso do par chávena/asa 10001 e 10020, os valores de humidade encontram-se bastante próximos, pelo que os resultados se encontram de acordo com o esperado – humidades de asas e chávenas, relativamente, próximas, sob pena de durante os processos seguintes, devido ao diferencial de humidades, surgirem defeitos e possíveis descolagens.

Relativamente à relação entre a massa da peça e capacidade de absorção da mesma:

Verifica-se que à medida que aumenta a massa de chacotagem do pires 10001 e 30006, e da chávena 10001, absorção de água (porosidade) aumenta. Tal facto ocorre, pois com o aumento de massa, existe mais matéria, maior número de grãos e poros (espaços entre grãos) o que aumenta a porosidade. Analisando, por fim, numa perspetiva global, ou seja, colocando no mesmo gráfico a relação entre a massa da peça e a absorção da mesma, verifica-se, novamente, uma tendência crescente. Quanto maior a massa do corpo/peça, maior será a absorção de água do mesmo.

Relativamente à absorção de peças chacotadas:

Quanto mais elevada for a temperatura de cozedura, menor será a porosidade aberta do suporte e melhor será a maturação química do suporte. O aumento do ciclo de cozedura permite também um maior tempo de maturação do corpo cerâmico

Relativamente à temperatura de chacotagem ideal:

Através da análise da curva dilatométrica e térmica, é possível observar que, para efeitos de cozedura de chacotagem, era aconselhado tomar como valor de referência para temperatura máxima de chacotagem, o valor de 900°C, pois a partir desse valor a perda de massa é praticamente residual e as transformações mais importantes já cessaram praticamente (observa-se pelo declive da curva ser quase zero a partir dos 900°C).

Relativamente ao ensaio reológico do vidrado:

O valor de densidade, quando medido, esteve sempre dentro dos valores adequados.

O valor de viscosidade medido esteve sempre dentro dos valores adequados, à exceção do dia 23 de Novembro no carrinho de vidragem das chávenas, em que o valor da viscosidade medido coincidiu com o valor do limite máximo (50 segundos) e do dia 20 de Dezembro, em que a primeira medição ultrapassou o limite máximo. Em ambas

as situações, os funcionários adicionaram desfloculante – tripolifosfato de sódio – a fim de diminuir a viscosidade do vidrado. Após aguardar algum tempo depois da adição do desfloculante, voltou-se a medir a viscosidade, passando esta para valores inferiores ao limite máximo. No entanto, os valores, no geral, encontram-se altos, face ao valor mínimo (40 segundos). Valores altos da viscosidade podem conduzir a defeitos na peça vidrada (depois de cozida), como é o caso de peças que apresentam “picado” na superfície da peça.

Relativamente ao teste da limpeza de peças chacoalhadas:

De acordo com a análise pessimista, o número de peças cujo defeito era apresentar “lixo” subiu de 3 para 15 pires em 572, ou seja, cerca de 3%. Depois de analisar e discutir os resultados com a responsável de produção e com o director de produção, chegou-se à conclusão que o número de peças que ainda surgiam com lixo, mesmo após a limpeza com ar comprimido não justificava a sua intervenção na introdução de uma nova tarefa de produção (limpeza das peças), assim como os custos adicionais de tal introdução na produção. Contudo, é de frisar que este ensaio não se realizou nas condições adequadas, uma vez que durante a limpeza dos pires com ar comprimido, não existia nenhum equipamento de aspiração de poeiras libertadas durante a limpeza, poeiras estas que poderiam contaminar peças já limpas e de certa forma, falsear os resultados obtidos. Para além disso, algumas partículas que originaram o defeito de “lixo” neste ensaio poderiam ter origem nas partículas presentes na suspensão de vidrado. Estas partículas podem ser introduzidas nas suspensões de vidrado, quando, por exemplo uma peça no momento de ser vidrada cai dentro da suspensão, podendo partir-se e originar várias partículas. De modo a contornar este problema, é adicionado um equipamento composto por um motor eléctrico e um filtro, cuja função é, através do motor eléctrico sugar a suspensão para o interior de um tubo que conduz o vidrado para um filtro, de modo a reter partículas presentes no vidrado e conduzindo o vidrado limpo de novo ao carrinho de vidragem.

## 7.2 Trabalhos futuros

### ♣ **Recuperação do calor em excesso dos fornos;**

Actualmente, muitos dos secadores utilizam ar quente recuperado das zonas de arrefecimento dos fornos de túnel, a que normalmente se junta ar quente proveniente de queimadores a gás, daí que a organização dos fluxos (*lay-out*) fabris seja muito importante. Têm sido conseguidas poupanças energéticas bastante significativas por esta via. Alguns processos também empregam permutadores de calor para recuperar o calor dos efluentes gasosos dos fornos de modo a pré-aquecer o ar da combustão, mas esta aplicação é limitada por causa dos eventuais problemas de corrosão provocados pela acidez dos gases de combustão e porque com frequência, as temperaturas dos efluentes gasosos são muito baixas. O calor em excesso proveniente da zona da pós-combustão também pode ser utilizado tanto no forno como no queimador. Uma fábrica alemã usa fluido térmico para transferir o calor em excesso da pós-combustão para o secador, em combinação com ar quente da zona de arrefecimento do forno. O princípio de funcionamento deste sistema combinado de recuperação de calor é apresentado na figura seguinte [33].

Aplicabilidade: A recuperação do calor em excesso dos fornos, em especial em forma de ar quente das zonas de arrefecimento, em princípio, pode ser aplicada aos

secadores em todos os subsectores da indústria cerâmica. É necessário referir que a recuperação do calor em excesso dos fornos só é susceptível de aplicação se o calor em excesso for necessário ao mesmo tempo num outro processo. Na Alemanha, são muito poucas as fábricas que utilizam esta técnica, por isso, não pode ser generalizado, em especial em relação à utilização do calor em excesso do pós-queimador, uma vez que é frequente que os efluentes gasosos do pós-queimador sejam demasiado frios para conseguir uma recuperação eficiente de energia [53].

Aspectos económicos: redução do consumo de energia e devem ser tidos em conta os custos adicionais com o isolamento das condutas.

Motivações para a implementação: poupança de dinheiro graças a um menor consumo de energia e redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

#### ◆ **Controlo de qualidade aos defloculantes utilizados**

O controlo efectuado, na actualidade, sobre os aditivos (ligantes e defloculantes) utilizados na preparação de engobes e esmaltes é, na maioria dos fabricantes de revestimentos cerâmicos, escasso e incompleto.

Neste trabalho propõe-se um plano de controlo para assegurar a qualidade do defloculante mais utilizado na fabricação de engobes e vidrados cerâmicos, o tripolifosfato de sódio (TPF). Deverão ser estabelecidos os ensaios a serem realizados com a finalidade de caracterizar este defloculante, e assim evitar alterações no processo produtivo causadas por variações nas suas propriedades. Deverá ser construída a curva de defloculação para este aditivo, de modo a dominar as quantidades a empregar nos vidrados sem comprometer a qualidade do produto final.

#### ◆ **Mobília refractária do forno de vidragem**

Projeto de uma peça intermédia, a colocar na parte superior e inferior dos orifícios presentes nas placas, a fim de reduzir o desgaste (atrito) dos mesmos durante o deslizamento das placas ao longo dos varões (suportes das mobílias) (Figura 170 e Figura 171). Um material intermédio que seja possível montar e desmontar em simultâneo com a respetiva mobília; com elevada dureza; elevada refratariedade, por exemplo mullite.



Figura 170 - Placa refratária cujo orifício apresenta desgaste.





Figura 171 - Pormenor do orifício avançado da placa refratária, da qual se libertaram partículas de carboneto de silício.

### 7.3 Recomendações

- ✓ A manutenção deve assumir uma política de prevenção, de forma a evitar longas paragens no processo.
- ✓ Quando é feito o controlo quantitativo das peças, faz-se uma análise qualitativa, relativamente ao tipo de acabamento e a eventuais anomalias que sejam visíveis em cru. Esta análise não tem uma metodologia descrita, serve-se apenas do *Know how* do controlador e dos operadores. Os operadores estão durante um período de trabalho a operar com o mesmo equipamento, são eles quem tem maior facilidade em detetar anomalias. Deste modo, é de extrema importância a relação entre operadores, responsáveis de produção e os controladores, para em conjunto procurarem as melhores soluções para eventuais problemas.
- ✓ Investir na formação contínua e mais refinada nos funcionários da empresa, de modo a torná-los mais sensíveis ao defeito;
- ✓ Permitir uma maior participação dos funcionários na tomada de decisões nos diversos sectores.
- ✓ Atribuir a chefia, de cada estação de trabalho, a um funcionário, de modo, a que exista um responsável por cada seção.
- ✓ Todas as atividades de controlo de qualidade realizadas no processo produtivo de porcelana na Spiana devem ser definidas em planos da qualidade (PLQ), onde estejam previstos os ensaios a realizar em cada fase do processo, a sua periodicidade, as responsabilidades de execução e aprovação, as ações a tomar face a desvios e os documentos de referência (fichas de registo, especificações, etc.). As atividades de controlo de qualidade deverão ser executadas de acordo com os planos definidos para cada ponto do processo: receção de materiais, durante o fabrico e produto final.

- ✓ Para cada material e equipamento produtivo relevantes, deverá existir uma especificação da qualidade (EQ), onde sejam definidos intervalos de aceitação para cada característica. Para as características mais difíceis de quantificar, como por exemplo defeitos visuais nas peças ou tonalidade dos vidrados e corantes, deverão ser definidos padrões físicos. Os intervalos de aceitação, para cada característica de cada material ou equipamento, devem ser definidos com base num histórico de valores, para os quais os resultados de produção obtidos nesse intervalo de tempo sejam considerados bons. O resultado de controlo de qualidade da característica ou parâmetro em causa será comparado com o definido na EQ procedendo-se, seguidamente, de acordo com o definido no PLQ.



## Referências

- [1] APICER – Associação Portuguesa da Indústria Cerâmica. *Capacitação da indústria da Cerâmica Portuguesa - Um cluster, uma estratégia, mercados prioritários*, novembro 2016.
- [2] Spiana, URL: <http://www.spiana.pt/>. [acedido em Outubro de 2017].
- [3] Powel, Harold. *The Pottery Handbook of Clay, Glaze and colour*. Ed. Blandford Press, s.d.
- [4] Enciclopédia Luso-Brasileira de Cultura, Edição Século XXI, VERBO
- [5] Alberto Silva. Manual de Tecnologia Cerâmica I. CENCAL, Edição 1990.
- [6] Schneider, S.J. *Engineered Materials Handbook – Ceramics and Glass*. USA, ASM Internacional, V.04, 1214 p, 1991.
- [7] Motta, J. F. M., Zanardo, A., Cabral Júnior, M. As Matérias-Primas Cerâmicas. Parte I: O Perfil das Principais Indústrias Cerâmicas e seus Produtos. *Cerâmica Industrial* 6, 2: 28-39, 2001.
- [8] Classificação Portuguesa das Actividades Económicas, Rev. 3, INE, 2007
- [9] Oliveira, C. S. *CONTROLO ESTATÍSTICO - Indústria Cerâmica. Tese de Mestrado*, Departamento de Química Universidade de Coimbra, 2012.
- [10] Vidro, C. T. *Plano sectorial de melhoria da eficiência energética em PME - Sector da cerâmica e do vidro*, 2012.
- [11] CUP&SAUCER, URL: <http://www.cup-saucer.com/pt/know-how/a-chavena> [Acedido em Outubro de 2017]
- [12] SOLUTIONS, M. C. Obtido de TECHNICAL DATA SHEET, Body PORALT 10EX Hard Porcelain Body for RAM Pressing and Roller Head Making, URL: [www.mota-sc.com](http://www.mota-sc.com), Setembro, 2008 [Acedido em Novembro de 2017]
- [13] Santos, D. *Introdução à Ciência e Tecnologia dos Materiais Cerâmicos*. Compilação das aulas do Prof. Lopes Batista e Dr. Darlindo Lucas; Aveiro; 124p, 1993;
- [14] Gomes, Celso Figueiredo. *Minerais industriais, Matéria Primas Cerâmicas*. Instituto nacional de investigação científica, 1989.
- [15] Rodrigues, C.M.V. *Optimização da Barbotina para Enchimento de Alta Pressão de Artigos de Porcelana. Tese de Mestrado*, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro Universidade de Aveiro, 2009.
- [16] Fonseca, António Tomás da, *“Tecnologia do processamento Cerâmico”*. Universidade Aberta. 2000.
- [17] Ebah, URL: <http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAAAQsIAD-0.jpg> [Acedido em Outubro de 2017]
- [18] Manuel Joaquim P. M. Ribeiro e João Carlos Castro Abrantes, Moagem em moinho de bolas: Estudo de algumas variáveis e otimização energética do Processo, Escola Superior de Tecnologia e Gestão – Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal *“Cerâmica Industrial”*, 6 (2) Março/Abril, 2001.

- [19] Springwise, URL: [http://www.springwise.pt/uploadedfiles/ProductsFiles\\_219\\_tvD0Q.jpg](http://www.springwise.pt/uploadedfiles/ProductsFiles_219_tvD0Q.jpg) [Acedido em Outubro de 2017]
- [20] Sival. (s.d.). *Catálogo Gessos Cerâmicos*. Obtido de Sival, Gessos Especiais LDA., URL: [www.sival2.pt/pic/conteudo/Catalogo\\_Gessos\\_Ceramicos.pdf](http://www.sival2.pt/pic/conteudo/Catalogo_Gessos_Ceramicos.pdf)
- [21] Norton, F.H. *Ceramica fina, tecnología Y aplicaciones*, Edições ómega, S.A., Barcelona 1988.
- [22] Canotilho, Maria Helena. *Processos de cozedura em cerâmica*. Bragança, Politécnico de Bragança, 2003
- [23] SOLUTIONS, M. C. Obtido de TECHNICAL DATA SHEET, Glaze VDAT 10T, URL: [www.mota-sc.com](http://www.mota-sc.com), Setembro, 2010 [acedido em Novembro de 2017]
- [24] Cartaxo, M.O.A.S – “*Investigação e prevenção do defeito refervido em faiança de bicozedura*”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia de Materiais e Cerâmica Universidade de Aveiro, 2012.
- [25] Oliveira, J.O., Labrincha, J.A., Esmaltes e Engobes para Monoporosa. *Cerâmica Industrial* 7 (2) Março/Abril, 2002
- [26] CARDOSO, Eng. Armando. *Manual de cerâmica*, De. Bertrand, Lisboa 1959.
- [27] TREVOR, Henry. *Pottery step by step*, De. Watson, Guptill Publications, London 1992.
- [28] MONTMOLLIN, Daniel. *La poterie*, DE. Robert Morel, Paris 1974.
- [29] HALL, Peter. *Técnica de la Cerámica*, De. Omega S.A., Madrid 1980.
- [30] THOMAS, Gwilm. *Step by step guide to pottery*, De. Hamlyn, London 1993.
- [31] Gomes, C.F. *Argilas, Aplicações na Indústria*. Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro; O Liberal, Empresa de Artes Gráficas, Lda.; Aveiro; pp. 6 – 158, 2002;
- [32] Vieira, J.M., Monteiro, R. C., Senos, A. M. R. *Introdução aos modelos de sinterização*. Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, 1992.
- [33] UBA. “*Exemplary Investigation into the State of Practical Realisation of Integrated Environmental Protection within the Ceramics Industry under Observance of the IPPC Directive and the Development of BAT Reference Documents*”, 2001
- [34] Almeida, M., Vaz, S., Baio, D. “*Impactes Ambientais e Comércio de Emissões Indústria Cerâmica - Um caso de estudo*”, 2004
- [35] Gomes, Celso Figueiredo. *Argilas – o que são e para que servem*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa 1988.
- [36] Almeida, Margarida. *Apontamentos de Elasticidade e Reologia de Suspensões*. Universidade de Aveiro, 1998.
- [37] Bohlmann, C., Luck, C., Kuirmbach, Peter. *Mecanismos de acção de produtos desfloculantes e dispersantes em pastas cerâmicas*. Zschimmer & Schwarz GmbH & Co.KG, Lahnstein, Alemanha, 2000.
- [38] Norma ISO 9001:2008

- [39] Miranda, C.M.R. *Argilas para Aplicação na Indústria de Louça Sanitária: design e fabrico*. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro Universidade de Aveiro, 2008.
- [40] Callister, W. D. Jr. *Ciências e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução*. Quinta edição. LTC, 589p, 2002.
- [41] CENCAL – Centro de Formação Profissional para a Indústria Cerâmica. *Procedimentos de Controlo de Processo*. Serviços Técnicos; Revisão de Setembro; 130p, 2008.
- [42] Alves, T.F.L.P. *Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria Tradicional*. Tese de Mestrado, Departamento de Geociências Universidade de Évora, 2015.
- [43] Costa, M. – “*Reciclagem de Caco Chacotado em Pastas de Porcelana de Cozedura Rápida para Utilização Industrial*”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro Universidade de Aveiro, 2009.
- [44] Vidro, C. T. C., *Análise Dilatométrica: Aplicação dos resultados na optimização dos Processos*, 27 de outubro de 2016.
- [45] NP 762:1969 (Ed. 1). *Gesso. Determinação da capacidade de absorção de água*.
- [46] Sival. (s.d.). *ESPECIFICAÇÕES SIVAL 60 GESSOS CERÂMICOS ADITIVADOS*. Obtido de Sival, Gessos Especiais LDA., URL: [www.sival2.pt/pic/conteudo/Catalogo\\_Gessos\\_Ceramicos.pdf](http://www.sival2.pt/pic/conteudo/Catalogo_Gessos_Ceramicos.pdf) [Acedido em Dezembro de 2017]
- [47] SOLUTIONS, M. C. Obtido de TECHNICAL DATA SHEET, Análise dilatométrica da pasta Poralt 10 EX-cru, URL: [www.mota-sc.com](http://www.mota-sc.com), Setembro, 2010 [acedido em Novembro de 2017]
- [48] Tozzi, N., “*Glaze and Body Pigments and Stains in the Ceramic tile Industry*”, URL: [www.Digitalfire.com](http://www.Digitalfire.com) [Acedido em Novembro de 2017]
- [49] Durán, A., Hevia, R., Centritto, N., Novais, P. A., Bernardim, A. M., “*Introducción a los esmaltes cerámicos*”, Castellón: Faenza editrice ibérica s.l., 2002.
- [50] Glaze chemistry 101, URL: <http://ceramicartsdaily.org/ceramic-glaze-recipes/glazechemistry-ceramic-glaze-recipes-2/how-to-correct-five-common-ceramic-glazedefects/> [Acedido em Dezembro de 2017]
- [51] Ferreira, A. F. S. – “*Análise de defeitos em vidrados de pavimento*”, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro Universidade de Aveiro, 2011.
- [52] Singer, F.; German, W.L., *Ceramic Glazes; Borax Consolidated Limited*; London, 1960.
- [53] COMISSÃO EUROPEIA. *Prevenção e controlo integrados da poluição, Documento de referência sobre as Melhores Técnicas Disponíveis na Indústria Cerâmica*, Dezembro 2016.